Actas del Undécimo Congreso Nacional de

Historia de la construcción

Soria, 9 a 12 de octubre de 2019

Volumen I



Instituto Juan de Herrera
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de Madrid

Textos sobre Teoría e Historia de las Construcciones
Colección dirigida por Santiago Huerta

M. Arenillas et al. (Eds.). **Actas del V Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
F. Bores et al. (Eds.). **Actas del II Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
A. Buchanan et al. (Eds.). **Robert Willis. Science, Technology and Architecture in the Nineteenth Century**
A. Casas et al. (Eds.). **Actas del I Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
A. Choisy. **El arte de construir en Roma**
A. Choisy. **El arte de construir en Bizancio**
A. Choisy. **El arte de construir en Egipto**
A. Choisy. **Historia de la arquitectura** (en preparación)
I. J. Gil Crespo. (Ed.). **Historia, arquitectura y construcción fortificada**
J. Girón y S. Huerta. (Eds.) **Auguste Choisy (1841-1909). L'architecture et l'art de bâtir**
A. Graciani et al. (Eds.). **Actas del III Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
R. Guastavino. **Escritos sobre la construcción cohesiva y su función en la arquitectura**
J. Heyman. **Análisis de estructuras: un estudio histórico**
J. Heyman. **El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica**
J. Heyman. **Geometry and Mechanics of Historic Structures**
J. Heyman. **La ciencia de las estructuras**
J. Heyman. **Teoría básica de estructuras**
J. Heyman. **Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica. 2 vols.**
J. Heyman. **Vigas y pórticos**
S. Huerta. **Arcos, bóvedas y cúpulas**
S. Huerta (Ed.). **Actas del IV Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
S. Huerta et al. (Eds.). **Actas del VI Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
S. Huerta et al. (Eds.). **Actas del VII Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
S. Huerta y F. López Ulloa (Eds.). **Actas del VIII Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
S. Huerta y P. Fuentes (Eds.). **Actas del I Congreso Int. Hispanoamericano de Historia de la Construcción**
S. Huerta et al. (Eds.). **Actas del II Congreso Int. Hispanoamericano de Historia de la Construcción**
J. I. Del Cueto et al. (Eds.). **Actas del III Congreso Int. Hispanoamericano de Historia de la Construcción**
S. Huerta et al. (Eds.). **Actas del XI Congreso Nacional de Historia de la Construcción**
S. Huerta (Ed.). **Las bóvedas de Guastavino en América**
S. Huerta (Ed.). **Essays in the History of the Theory of Structures, in Honour of Jacques Heyman**
S. Huerta (Ed.). **Proceedings of the 1st International Congress on Construction History**
J. Monasterio. **Nueva teórica sobre el empuje de las bóvedas** (en preparación)
J. R. Perronet. **La construcción de puentes en el siglo XVIII**
H. Straub. **Historia de la ingeniería de la construcción** (en preparación)
G. E. Street. **La arquitectura gótica en España**
H. Thunnissen. **Bóvedas: su construcción y empleo en la arquitectura**
A. Truñó. **Construcción de bóvedas tabicadas**
E. Viollet-le-Duc. **La construcción medieval**
R. Willis. **La construcción de las bóvedas en la Edad Media**

Actas del XI Congreso Nacional de

Historia de la Construcción

Undécimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Soria, 9 –12 octubre 2019

Organizado por
Sociedad Española de Historia de la Construcción
Instituto Juan de Herrera
Ayuntamiento de Soria
Diputación Provincial de Soria
Junta de Castilla y León - Consejería de Fomento y Medio Ambiente

Colaboran
Subdelegación del Gobierno en Soria
Ministerio de Fomento
Centro de Estudios Sorianos
Centro de Estudios José Joaquín de Mora
Fundación Cárdenas

Director
Ignacio Javier Gil Crespo

Presidente de la SEdHC
Santiago Huerta

Comité Organizador

Alfredo Calosci
Rafael Hernando de la Cuerda
Alba de Luis Fernández
Yolanda Martínez
Rafael Marín Sánchez
Esther Redondo Martínez
Ana Rodríguez García

Comité de Honor

Marián Arlegui. *Directora del Museo Numantino*
Ricardo Aroca Hernández-Ros. *Presidente del Instituto Juan de Herrera*
Carlos de la Casa Martínez. *Jefe del Servicio Territorial de Cultura de la JCyL en Soria*
Manuel López Represa. *Delegado Territorial de la Junta de Castilla y León en Soria*
Ángel María Marinero Peral. *Director General de Vivienda, Arquitectura y Urbanismo de la JCyL*
Javier Martín Ramiro. *Director General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Ministerio de Fomento*
Carlos Martínez Mínguez. *Alcalde de Soria*
Jesús F. Puerta García. *Jefe del Servicio Territorial de Fomento de la JCyL en Soria*
Luis Rey de las Heras. *Presidente de la Diputación de Soria*

Comité Científico

Bill Addis
Inmaculada Aguilar Civera
Antonio Almagro Gorbea
Ricardo Aroca Hernández-Ros
Rafael Azuar Ruiz
Jorge Bernabéu
Dirk Bühler
José Calvo López
Pepa Cassinello
Fernando Cobos Guerra
Xavier Cortés de la Rocha
Juan Ignacio del Cueto
Manuel Durán Fuentes
Paula Fuentes González
Rafael García García
Ignacio Javier Gil Crespo
Francisco Javier Girón Sierra
José Luis González Moreno-Navarro
Amparo Graciani García
Rosa Ana Guerra Pestonit
Miguel Ángel Hervás
Santiago Huerta
Benjamín Ibarra Sevilla
Alfredo Jimeno Martínez
Fabián López Ulloa
Rafael Marín Sánchez
Gaspar Muñoz Cosme
Pedro Navascués Palacio
Enrique Nuere Matauco
Enrique Rabasa Díaz
Esther Redondo Martínez
Antonio Ruiz Hernando
Cristina Segura Graíño
Miguel Taín Guzmán
Fernando Vela Cossío
Arturo Zaragozá Catalán

Actas del Undécimo Congreso Nacional de

Historia de la Construcción

Soria, 9 – 12 de octubre de 2019

Edición a cargo de

Santiago Huerta

Esther Redondo Martínez

Ignacio Javier Gil Crespo

Paula Fuentes

Prologo

Ignacio Javier Gil Crespo

Volumen I

Instituto Juan de Herrera

Escuela Técnica Superior

de Arquitectura de Madrid




















ISBN: 978-84-9728-576-6 (Obra completa); ISBN: 978-84-9728-577-3 (Vol. I)
Depósito legal: M-21528-2019
Portada: Detalle de A. W. J. Ahlborn *Blick in Griechenlands Blüte* (copia de Karl Friedrich Schinkel) 1836
Fotocomposición: GRACEL.
Impresión: Imprenta Provincial de Soria
Libros Juan de Herrera: librosjuandeherrera.wordpress.com

Índice

Volumen I

Volumen II

Prólogo

Manent opera interrupta,
minaque murorum ingentes
Virgilio, *Aeneis,* 4, 88-89

Los Congresos Nacionales de Historia de la Construcción han llegado a su edición número 11. En esta ocasión se celebra en la ciudad de Soria, en el año en que celebra el noveno centenario de su reconquista. Soria es una ciudad castellana, pequeña, austera, fría, histórica y con un acervo cultural muy marcado. Entre los intelectuales que han vivido en Soria y han dejado su impronta en sus calles, en sus edificios y en el conocimiento popular destacan los poetas y los arqueólogos. La cercana presencia de la ciudad celtíbero-romana de Numancia y su gran carga histórica ha hecho que el paso de anticuarios y arqueólogos también haya alimentado la cultura de los sorianos, sus debates, sus casinos y sus periódicos. Por eso la elección de la ciudad de Soria para la celebración de un Congreso Nacional de Historia de la Construcción es óptima. La escala de la ciudad, sus monumentos y urbanismo y, sobre todo, esta carga intelectual que se respira en el ambiente acompañará las jornadas en que arquitectos, arqueólogos, historiadores, ingenieros e investigadores expondrán sus últimos estudios, debatirán sobre la implantación de la disciplina, discutirán de los métodos empleados, mostrarán las fuentes de documentación y disfrutarán del placer intelectual de reunirse y hablar de un tema de interés común: la Historia de la Construcción.

En otras ediciones de estos congresos nacionales se ha dedicado una o varias sesiones a un tema específico. En el anterior congreso, el décimo, celebrado en San Sebastián, el tema destacado fueron los faros históricos. Soria es pobre en faros, pero es muy rica en restos arqueológicos. Por eso se ha hecho un especial llamamiento a los arqueólogos para exponer los estudios sobre la construcción que sus excavaciones e investigaciones documentales ofrecen. Se había observado que este tipo de estudios y la presencia de los arqueólogos habían disminuido paulatinamente en los anteriores congresos, cuando la Arqueología tiene mucho que aportar a la Historia de la Construcción. En esta ocasión se ha hecho una especial difusión por sus foros y se ha encontrado respuesta.

En estas actas que siguen a esta presentación se recogen todos los trabajos presentados en el Undécimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción celebrado en Soria entre el 9 y el 12 de octubre de 2019. La organización de este congreso ha sido posible gracias a la colaboración y patrocinio de instituciones como el Ministerio de Fomento (D.G. Arquitectura, Vivienda y Suelo; Subdirección General de Arquitectura y Edificación), la Subdelegación del Gobierno en Soria, la

Junta de Castilla y León (Dirección General de Vivienda, Arquitectura y Urbanismo), la Diputación Provincial de Soria y el Ayuntamiento de Soria, además del Centro de Estudios José Joaquín de Mora de la Fundación Cárdenas, el Centro de Estudios Sorianos, el Museo Numantino y, como siempre, el Instituto Juan de Herrera y la Sociedad Española de Historia de la Construcción. Como director del congreso debo agradecer el apoyo mostrado por los representantes de estas instituciones y, muy especialmente, a las tres primeras personas con las que se comentó la posibilidad de celebrar el congreso en Soria y que al instante comenzaron a buscar la manera de hacerlo posible: Carlos de la Casa, Yolanda Martínez y Jesús Bárez.

Santiago Huerta ha llevado la presidencia del Comité Científico que ha velado por la calidad, originalidad y adecuación de las comunicaciones presentadas. Este comité, con una trayectoria ya marcada a lo largo de tantos congresos, se ha visto renovado con nuevas incorporaciones que han aportado interesantes puntos de vista. El Comité Organizador ha desarrollado sus funciones con gran diligencia y han formado un cuerpo de guardia atento a todas las eventualidades que han podido ser solventadas.

La cita de Virgilio que encabeza esta presentación, que está tomada de un ensayo de Michel de Montaigne, habla de que «el puerto, el muro, la fortaleza en abandono quedan, paralizando el ardoroso empeño». Con los trabajos que aquí se publican queda de manifiesto que no se ha podido paralizar el estudio de esos puertos, esos muros, esas fortalezas, en abandono o no, precisamente por el «ardoroso empeño» de todos quienes trabajamos en el reconocimiento y fortalecimiento como disciplina de la Historia de la Construcción.

Salerno (Italia), 16 de mayo de 2019

Ignacio Javier Gil Crespo
Dr. Arquitecto
Director del Undécimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción

Comunicaciones

El uso de pruebas de modelo a escala reducida por William Fairbairn para el diseño del Puente Britannia, 1845-47

Bill Addis

Entre las décadas de 1930 y 1970 se utilizaron regularmente modelos a escala reducida para el proyecto de estructuras de hormigón armado, especialmente cáscaras delgadas. El uso de modelos de Eduardo Torroja y Pier Luigi Nervi es bien conocido. Sin embargo, el uso de modelos se remonta mucho más atrás en la historia (Addis 2005, 2013). Antes del desarrollo de la teoría elástica a partir de las décadas de 1860 y 1870, los modelos eran la única manera de explorar la seguridad de las estructuras innovadoras, como las armaduras trianguladas y los puentes en cajón, especialmente cuando se fabricaban con materiales de construcción no tradicionales entonces como el hierro fundido y el hierro forjado. El ejemplo más espectacular fue el Puente Britannia en el norte de País de Gales, construido entre 1845 y 1850.

El ferrocarril de Chester a Holyhead

La línea de ferrocarril entre Chester y Holyhead en Anglesey fue proyectada a principios del decenio de 1840 para proporcionar el enlace final entre Inglaterra e Irlanda. La ruta se enfrentaba a dos grandes desafíos: el estuario del río Conway, de unos 600 metros de ancho, y el estrecho de Menai, de unos 300 metros, entre el País de Gales y la isla de Anglesey. El Gobierno británico consideró que el estrecho de Menai era de gran importancia militar, por lo que el puente debería tener una altura mínima de 30 metros sobre el nivel del mar; por este motivo, un puente en arco no sería adecuado. Estas y otras limitaciones llevaron a proponer un tipo de puente sin precedentes con tubos huecos rectangulares de hierro forjado. En Conway se construyó un único vano de 122 m; en el estrecho de Menai, la gran luz requirió cuatro vanos, dos de 140 m y dos de 70 m (Figura 1). Para poner estos vanos en contexto, los vanos más largos de los puentes en viga de hierro a principios de la década de 1840 eran de 20-25 metros. El largo tramo del puente Britannia era, por tanto, unas seis veces más largo que los puentes anteriores, lo que supone el mayor salto técnico en la historia de la construcción de puentes. La historia de la construcción de estos dos puentes es una de las más grandes de la historia de la ingeniería (Chilton 2004; Bailey 2003; Byrom 2017; Ryall y Stephenson 1999). La enormidad del logro fue bien reconocida en el momento de su construcción y hubo muchos relatos de los proyectos. Hay que destacar los de Edwin Clark (1814-1894) quien fue el ingeniero superintendente del Puente Britannia (Clark 1850), William Fairbairn (1789-1874) que condujo los muchos experimentos sobre la construcción de hierro (Fairbairn 1849), y George Drysdale Dempsey (1815-1859), un ingeniero ferroviario (Dempsey 1850).

Los trabajos de proyecto de los dos puentes se iniciaron en 1844 y se realizaron un gran número de ensayos con modelos en tres fases, entre mediados de 1845 y mediados de 1847. El montaje de la primera viga para el puente de Conway se inició en abril de 1847 y siempre tuvo la intención de ser el piloto, con el objetivo de resolver los problemas antes de la construcción de los tramos posteriores. Un tren pasó por el primer

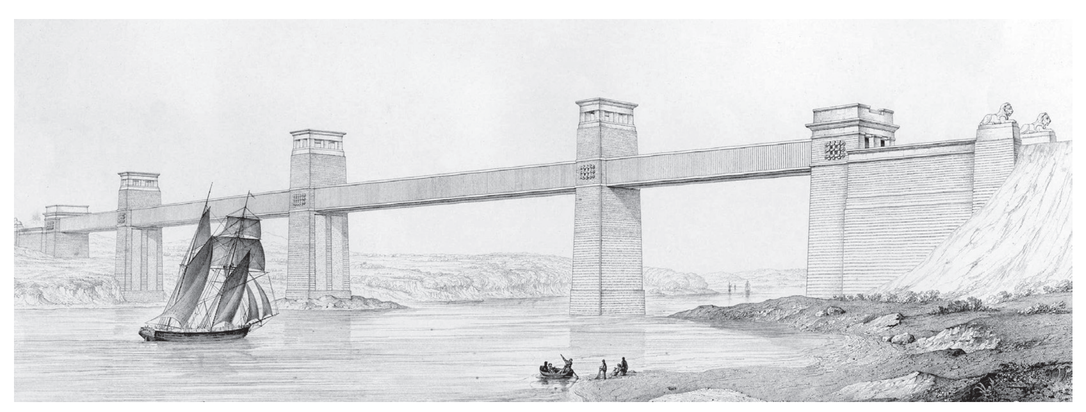


Figura 1
El Puente Britannia sobre el estrecho de Menai en el norte del País de Gales (Clark 1850, 920)

tubo de Conway en abril de 1848 y por el primer tubo del puente de Britannia en marzo de 1850. El puente entero fue finalmente inaugurado en octubre de 1850.

Ingeniería de puentes alrededor de 1840

Los principales puentes ferroviarios de la época eran generalmente arcos de fábrica o de hierro fundido. Los primeros puentes de vigas de hierro fundido se construyeron en el decenio de 1830 y su luz se limitó a unos 10 m debido a la baja resistencia a la tracción del hierro fundido y a la dificultad de fundir vigas más largas. Para superar estas limitaciones, varios ingenieros comenzaron a construir puentes de dos o tres vigas atornilladas entre sí y reforzadas con barras o chapas de hierro forjado que cumplían una función similar a la del refuerzo de acero en una viga de hormigón armado. Lamentablemente, el más famoso de estos puentes, proyectado por Robert Stephenson (1803-1859), fue el puente sobre el rio Dee, de 30 metros de luz, que se derrumbó en 1847 (Bailey 2003, 309-317). Aunque este hundimiento condujo rápidamente a la desaparición de los puentes de vigas de hierro fundido, ya había muchos ingenieros que exploraban las posibilidades del hierro forjado, mucho más resistente a tracción y, además, dúctil. Hay que resaltar en este sentido los trabajos de William Fairbairn. Desde principios del decenio de 1830 Fairbairn había estado fabricando barcos de hierro forjado, y antes de 1840 ya había construido varios de unos 60 m de largo. La junta directiva de la compañía de puentes estaba particularmente impresionada por las propiedades estructurales de los tubos de hierro forjado por el testimonio de uno de ellos: fue testigo de un accidente que se produjo en un barco de hierro de 60 metros de eslora que quedó varado a medida que la marea retrocedía, con un extremo apoyado en un embarcadero y el otro en el lecho marino, formando una viga sobre dos apoyos (Clark 1850, 31).

En aquel momento, el proyecto de los barcos de hierro se basaba en que el tubo que formaba el casco y la cubierta fuera lo suficientemente resistente como para que se extendiera, como una viga, entre las crestas de dos olas, o cuando se apoyara en una cresta de ola en su mitad. La teoría de flexión de las vigas estaba ya bien desarrollada y se podía calcular tanto la resistencia como la deformación de estas estructuras. Sin embargo, no había una comprensión teórica del pandeo de placas de hierro delgadas en compresión, que probablemente sería el mecanismo de fallo de una viga larga y delgada. Fue esta particular falta de conocimiento la que llevó a la decisión, en los inicios del proyecto de los puentes de Conway y Britannia, de realizar ensayos sobre modelos.

La primera serie de pruebas de modelos: Fairbairn en Millwall

Robert Stephenson comenzó a trabajar como ingeniero jefe para los dos puentes en 1844 y su primera tarea fue decidir su forma. Eligió un puente tubular soportado, al menos durante la construcción, por cadenas suplementarias. Con respecto a la utilización de un tubo de hie-

rro Stephenson decía en mayo de 1845: «Me siento perfectamente seguro; pero, con el fin de disipar cualquier duda al respecto, creo que es necesario realizar una serie de ensayos: no para convencerme más de lo que ya estoy, sino para transmitir confianza a la Junta Directiva bajo la cual actúo. No tengo ninguna duda al respecto» (Clark 1850, 60). En 1848, en retrospectiva y con menos necesidad de tranquilizar a la gente, fue quizás un poco más honesto al recordar que, con el consentimiento de los directores de los ferrocarriles, había establecido «una serie de ensayos, muy laboriosa, elaborada y costosa, con el fin de probar experimentalmente la teoría que yo había formado, y también para agregar sugerencias para su pleno desarrollo» (Fairbairn 1849, 175). Conociendo su experiencia en hierro forjado, Stephenson invitó a William Fairbairn a realizar la primera serie de ensayos de modelos a partir de julio de 1845 en sus talleres de Millwall en Londres.

Es interesante que, en esta fase, no había todavía un objetivo preciso para los ensayos. Como explicó Edwin Clark:

> Los experimentos . . . no fueron, al principio, específicos en su objeto. Era necesario determinar qué tipo de información se requería, en lugar de seguir un curso definido, y determinar en general de qué manera se podía esperar que los tubos fallaran, y en qué medida su fuerza podía ser modificada por la forma. Aunque la sección cuadrada o rectangular fue propuesta por primera vez, los tubos redondos o elípticos parecían ofrecer ventajas considerables. Si estaban suspendidos por cadenas, tenían la misma rigidez en todas las direcciones y poca tendencia a cambiar de forma. Eran simples de construir y, si las porciones verticales del círculo o elipse podían ser retenidas de forma segura, la parte superior e inferior estaban bien adaptadas para resistir la tracción y la compresión. Pero la ventaja más importante era la pequeña resistencia que ofrecían a los fuertes violentos, a los que los exponían su gran altura y su situación peculiarmente desprotegida. Por estos motivos, se sugirió su empleo en vez de los tubos cuadrados. Es difícil volver sobre los pasos por los cuales cualquier proyecto se perfecciona a lo largo del tiempo, pero resulta notable que las primeras concepciones sean frecuentemente retomadas y descubiertas como correctas. Este fue el caso, y en el curso de los ensayos el tubo redondo fue reemplazado por el de sección elíptica, que finalmente derivó en la sección rectangular original (Clark 1850, 83).

Entre julio y octubre se probaron 37 modelos diferentes de diferentes tamaños y secciones transversales. La carga se aplicó en la mitad del tramo, ya en la parte superior del tubo, o colgada desde un agujero en su parte inferior (Figura 2).

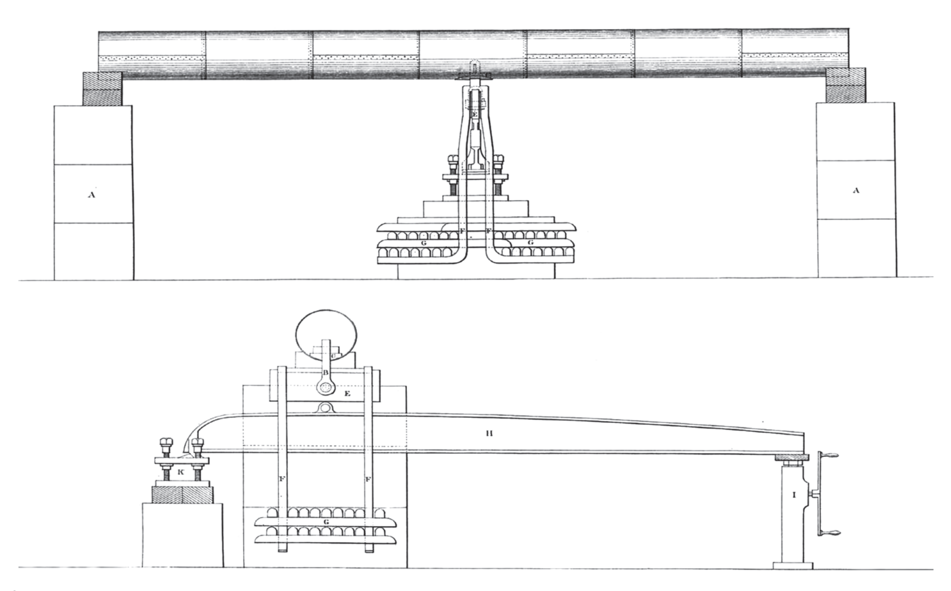


Figura 2
Aparatos de carga de las vigas de ensayo de escala reducida (Clark 1850, 109, 112)

No. of Experiment.	Date.	Length.		Weight.		Sectional Area.			Weight applied.	Deflection.
		Total.	Between Supports.	Total.	Between Supports.	Top.	Sides.	Bottom.		
		Feet.	Feet.	Tons.	Tons.	Inches.	Inches.	Inches.	Tons.	Inches.
20	July 31	18·5	17·5	·0902	·0853	1·074	1·432	1·074	·419	·17
									·919	·55
									1·419	·96
									1·679	1·1

Depth 9·6 inches.
Breadth 9·6 —

Figura 3
Resultados de un ensayo con una tuba con sección cuadrada (Clark 1850, 118)

En agosto, Fairbairn invitó a su colega Eaton Hodgkinson (1789-1861) a presenciar los ensayos y ofrecer consejos y ayuda con la teoría de flexión necesaria para interpretar los resultados. (Fairbairn y Hodgkinson habían colaborado en la década de 1820 para determinar la forma más eficiente para una viga de hierro fundido, que llevó a la primera demostración concluyente de la superioridad de la sección en I, aunque una I asimétrica, debido a las diferentes resistencias del hierro fundido a tracción y compresión) (Swailes 1996, 25-35).

Los resultados de las diferentes pruebas se normalizaron calculando el valor de la constante, *c*, en la ecuación:

$$W = \frac{a \cdot d}{l} c$$

donde *W* es la carga de colapso, *a* el área de la sección transversal, *d* el diámetro o altura de la sección, y *l* la luz de la viga. De esta expresión se despeja la constante:

$$c = \frac{W \cdot l}{a \cdot d}$$

Se ensayaron hasta el colapso un total de 34 modelos con escalas entre 1:33 y 1:15. Se registraron los resultados de los ensayos con ilustraciones que muestran los tipos de fallo (Figuras 3 y 4):

> Los [doce] modelos [de tubos cilíndricos] variaban en longitud de 15 a 31 pies, y en diámetro de 12 a 24 pulgadas, llevando en el centro cargas de 1 a 6 toneladas.
> . . .

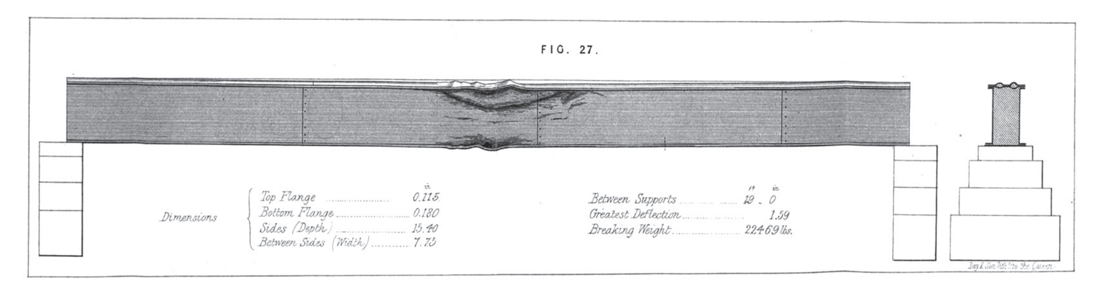


Figura 4
Resultados de un ensayo con una tuba con sección rectangular, con células tubulares en la parte superior de la viga (Fairbairn 1849, 325)

> Los [seis] tubos ovalados tenían de 17 a 24 pies de largo, variando su profundidad de 12 a 22 pulgadas, y su ancho de 7 a 14 pulgadas, y fallaron con cargas que variaban de 1 a 8 toneladas, suspendidas desde el centro.
>
> . . .
>
> Los [dieciséis] tubos rectangulares, que se construyeron por primera vez, variaron en longitud de 17 pies 6 pulgadas a 24 pies, y en profundidad de 1/15 a 1/20 de la longitud, o de 8 pulgadas a 18¼ pulgadas, siendo las placas más gruesas que se usaron de alrededor de ¼ pulgada de espesor. Fallaron por los pesos colocados en el centro, que variaban de una tonelada y media a unas 10 toneladas. . . Algunos de los modelos no tenían un grosor uniforme, siendo sus partes superior e inferior muy diferentes.
>
> . . .
>
> Algunos experimentos [también se llevaron a cabo en] tres vigas en T de hierro forjado macizo, de unos tres metros de largo. Fallaron al doblarse lateralmente sin que se rompieran las bridas. Debido a la ductilidad del hierro forjado, de las barras cuadradas o de las vigas, este material se vuelve invariablemente inútil o se destruye por flexión bajo tensión transversal, y no por desgarramiento, como en los tubos, donde la distancia del material del eje neutro asegura una gran rigidez y evita mucha flexión sin fractura' (Clark 1850, 85, 94, 116, 126).

De estas pruebas Stephenson pudo concluir que:

– La placa de hierro forjado es mejor para resistir la tracción que para resistir la compresión (debido al pandeo).
– La sección rectangular era más resistente que las secciones circulares o elípticas, para la misma cantidad de material.
– La mejor manera de obtener la rigidez y la resistencia de un tubo es «disponiendo el mayor espesor de material en la parte superior».

Fairbairn también señaló el efecto beneficioso de formar corrugaciones en la superficie superior de la viga para aumentar la resistencia al pandeo.

De los ensayos con tubos rectangulares, Stephenson dedujo que un tubo de tamaño real podría soportar una carga central total de 1.100 toneladas. Si se resta el peso de la viga, 747 toneladas, se obtiene una capacidad de carga de 253 toneladas de carga puntual o 506 toneladas (el doble) de carga distribuida uniformemente. Aunque este valor era adecuado, se consideró que esto no ofrecía un margen de seguridad suficiente. Stephenson consideró entonces que podría lograrse la resistencia necesaria realizando más ensayos para refinar la geometría de la sección transversal y encargó a Hodgkinson que los llevara a cabo.

Sobre la base de estos primeros ensayos, Fairbairn creía que se podían eliminar las cadenas de suspensión una vez hubieran cumplido su función durante la construcción. Por el contrario, Hodgkinson creía que las cadenas serían esenciales, o cuando menos un auxiliar útil para proporcionar la resistencia y rigidez necesarias a las vigas. Stephenson estaba indeciso, y recomendó esperar el resultado de la siguiente serie de ensayos.

La segunda serie de ensayos: Hodgkinson en Manchester

Eaton Hodgkinson era un ingeniero investigador, no un ingeniero consultor o contratista. Tenía un enfoque diferente al experimental de Stephenson y Fairbairn. Estaba más interesado en encontrar reglas generales para predecir el comportamiento de tubos de diferentes tamaños que en encontrar un proyecto concreto, práctico y oportuno para el puente. Encargó ocho modelos a los talleres de Fairbairn en Manchester que ensayó en enero de 1846. Hodkingson expuso claramente sus objetivos:

> I. Determinar hasta qué punto este valor de *f* [la tensión en el hierro] se vería afectado por el cambio del espesor del metal, manteniendo iguales el resto de las dimensiones del tubo.
> II. Obtener la resistencia de tubos exactamente iguales a otros tubos dados —pero proporcionalmente menor que los primeros en todas sus dimensiones, en cuanto a longitud, anchura, profundidad y grosor — para poder razonar, en cuanto a la resistencia de un tamaño a otro con más seguridad que hasta ahora, como se ha mencionado anteriormente. Otro objeto, no estudiado hasta ahora, es buscar la proporción adecuada de metal en la parte superior e inferior del tubo. Se necesita mucho más estudio en esta dirección. (Clark 1850, 152)

Hodgkinson ensayó tres tamaños de vigas de sección rectangular de 30, 7½ y 3¾ pies de largo, manteniendo el ancho y la profundidad en proporción; sólo se cambió el espesor de la chapa de hierro — por ejemplo, la viga de 30 pies, hecha con chapas

de 0,5, 0,25 y 0,125 pulgadas de espesor, colapsó con cargas de 57,5, 22,75 y 7,74 toneladas, respectivamente.

Sin embargo, no fue capaz de dar un sentido preciso a los resultados de los ensayos, a pesar de mencionar el uso de las teorías de flexión de Navier y las suyas propias, publicadas algunos años antes. Supuso que las tensiones de rotura en el hierro sólo podían determinarse mediante experimentos, y no mediante cálculos y que, por lo tanto, se necesitarían más ensayos. Mencionó específicamente las anomalías en los resultados causadas por las uniones roblonadas entre las chapas de hierro. También señaló que la resistencia de la viga de 30 pies se incrementó de 22,75 a 32,53 toneladas cuando la parte superior, que había fallado, fue reemplazada por una chapa más gruesa, que él había calculado, y que la nueva viga falló simultáneamente en las caras superior e inferior. No obstante, fue incapaz de encontrar una fórmula que permitiera extrapolar los resultados de los ensayos al tamaño real. Su única conclusión fue que, dado que las chapas delgadas reducían significativamente la resistencia de la viga, las cadenas de suspensión eran necesarias si se quería evitar un aumento excesivo del peso de una viga hecha con chapas más gruesas, confirmando su opinión anterior a los ensayos.

La tercera serie de ensayos: el modelo grande de Fairbairn en Manchester

Tras esta serie preliminar de ensayos Hodgkinson consideró que:

> La necesidad de realizar más ensayos era obvia. En cuanto se supieron estos detalles surgieron dudas y temores por doquier, advertencias sombrías en boca de todos que sugerían todo tipo de aprensiones y recelos imaginables. Incluso el Sr. Stephenson parecía a veces desanimado cuando se retiraba, como era su costumbre diaria, para dar instrucciones sobre el tema, y deliberar sobre las graves dificultades que encontraba en su empresa. Muy pocos son conscientes de la dolorosa ansiedad que recae sobre el ingeniero en circunstancias de tan profunda responsabilidad: no puede estar satisfecho con dudas e incertidumbres, pero ¿qué otros principios eran posibles? (Clark 1850, 156).

Hodgkinson recomendó que se modificara el proyecto para asegurar que la viga fallara simultáneamente en la parte superior, en compresión, y en la parte inferior, a tracción. Para ello, sugirió que la placa superior fuera reemplazada por una serie de tubos circulares, más eficaces para resistir la compresión. También le encargó realizar una serie de ensayos de resistencia a compresión de columnas de hierro forja-

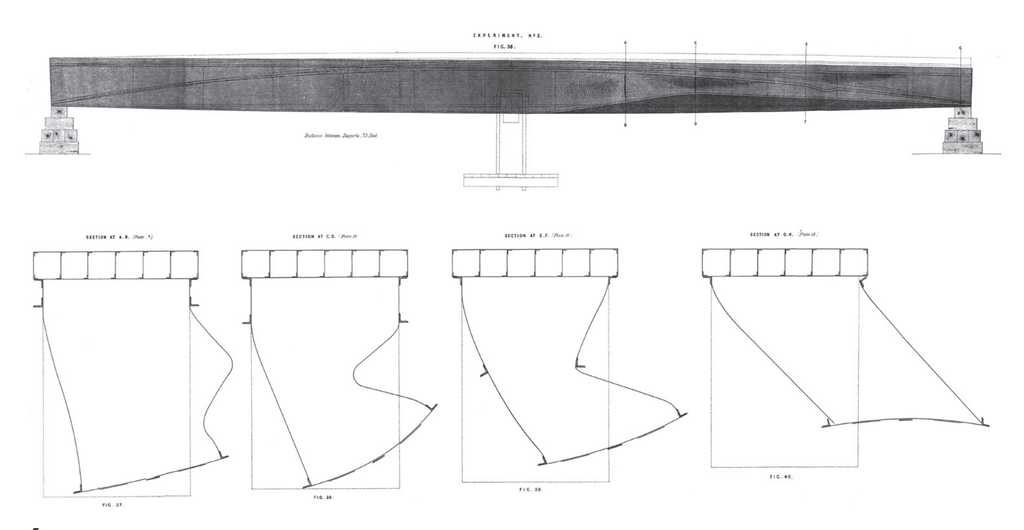


Figura 5
Fallo en el segundo ensayo por pandeo lateral de las paredes. Abajo: Deformación en el colapso de cuatro secciones de la mitad derecha de la viga. (Fairbairn 1849, Láms. XVIII, XIX)

do, tanto de sección circular como rectangular, con el fin de determinar el peso mínimo eficaz necesario.

Se acordó que se debería ensayar un modelo de viga mucho más grande, construido con la mayor precisión posible a una escala de un sexto. El modelo propuesto para el Puente Britannia tenía 75 pies de largo, 4 pies de profundidad y 2⅔ pies de ancho (22,9 × 1,4 × 0,81 m) y pesaba alrededor de 5¼ toneladas. Se señaló que, de conformidad con la ley de cubo-cuadrado, el área de hierro en cualquier componente del puente real sería 36 veces mayor que en el modelo, y el peso propio sería 216 veces mayor. La carga a aplicar al modelo se calculó en consecuencia. La recomendación de Hodgkinson de usar celdas circulares en la parte superior de la viga fue modificada por razones prácticas y finalmente se construyó una fila de 6 celdas rectangulares, cada una de 6 × 6½ pulgadas. La parte inferior de la viga se hizo con chapas planas. Una sección en ángulo en forma de arco fue unida mediante remaches a cada pared lateral de la viga para proporcionar una rigidez adicional a esta parte vulnerable.

A mediados de julio de 1846 se realizó el primer ensayo. La flecha en el centro de la viga se fue midiendo mientras se cargaba hasta el colapso que ocurrió para 35,5 toneladas, con una flecha de 4,4 pulgadas. Cedió la parte inferior, traccionada, debido al fallo de algunas uniones remachadas. Las secciones que fallaron fueron reparadas y reforzadas con chapas adicionales —dos tiras de 6 pulgadas de ancho por 5/16 de pulgada de espesor fueron añadidas en los 40 pies centrales de la viga. Esta viga falló a 43,3 toneladas, con una flecha de 4,25 pulgadas. Esta vez, el fallo se debió al pandeo lateral de las paredes verticales planas del tubo (Figuras 5).

Después de este fracaso, también se observó que: «Otra prueba interesante de la posición de la tensión en los lados fue la condición de la pintura, que, al ser menos elástica que el metal, no seguía las partículas de hierro que se alargaban, sino que se desprendía en largas escamas a lo largo de la línea de máxima tracción, y paralela a su dirección. (Algunos pigmentos menos elásticos que la pintura, y con menos propiedades adhesivas, podrían ser utilizados ventajosamente para registrar los movimientos de las partículas de cualquier material bajo tensión)» (Clark 1850, 166). Esta es una observación temprana de lo que se desarrolló en el siglo XX como una técnica de 'laca quebradiza' para medir las deformaciones superficiales.

Después de este fallo, se remacharon 33 pilares de refuerzo vertical de sección en ángulo a cada pared lateral dentro del tubo, a 2 pies de distancia entre centros. Este modelo mejorado soportó una carga de 54,2 toneladas; la mitad inferior de la viga fallaba en tensión cuando varias uniones remachadas se separaban.

Entre octubre y diciembre de 1846 se realizaron otras tres pruebas, y después de cada colapso, además de reparar el daño, se remacharon chapas de hierro sobre la viga para proporcionar resistencia adicional donde era necesario.

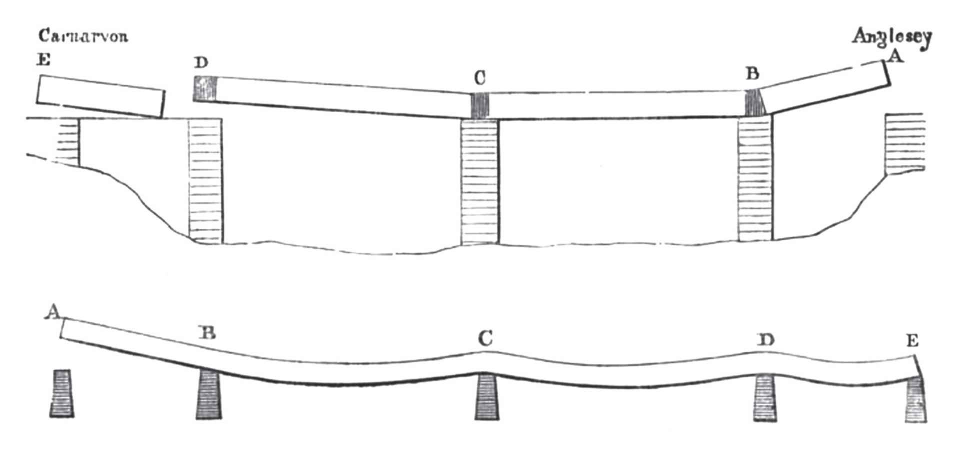


Figura 6
Secuencia de vigas de elevación y unión para crear una viga continua sobre los cinco soportes. (Clark 1850, 704, 764)

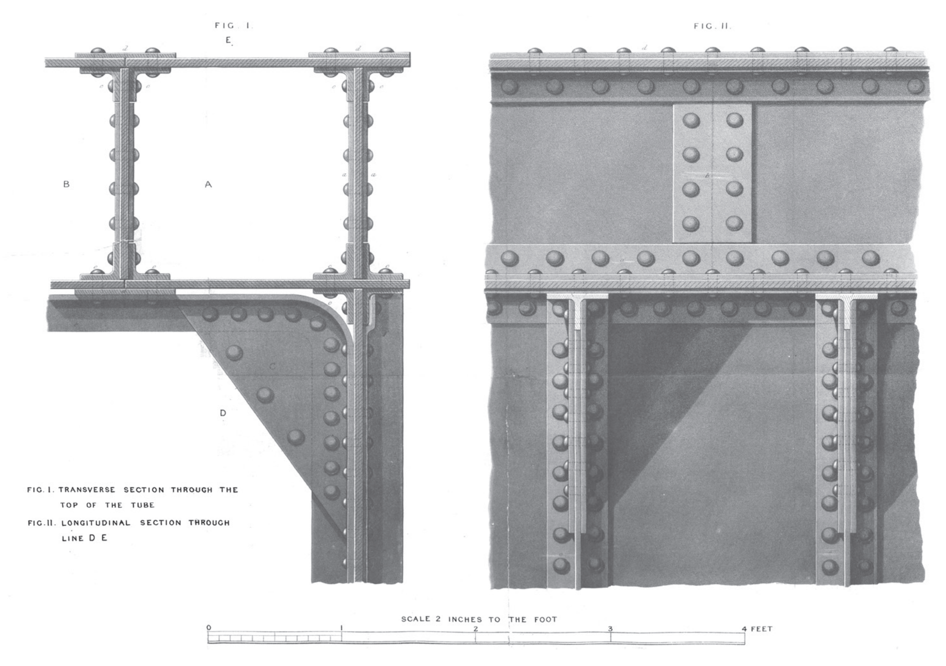


Figura 7
Detalle de las celdas remachadas de hierro forjado en la viga (Fairbairn 1849, 318)

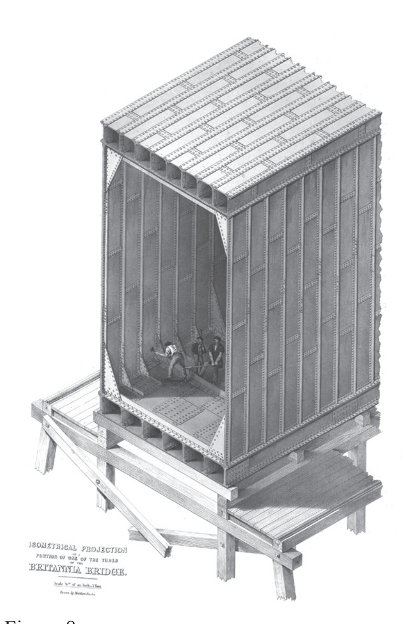


Figura 8
La disposición de las celdas en las partes superior e inferior de la viga (Clark 1850, 937)

Al comienzo de la quinta prueba, en diciembre, se decidió que se necesitaba un nuevo método para medir la deformación de la viga. Anteriormente se había hecho utilizando como punto de referencia un cable tirante entre los extremos de la viga, pero se descubrió que no era fiable, especialmente cuando había viento, y que era difícil alcanzar la precisión de una centésima de pulgada. Se ideó un método óptico sencillo en el que se levantaba una tarjeta fijada en el centro del haz para alinearla con las tarjetas fijadas en cada extremo.

Uno de los experimentos de este quinto ensayo se realizó sobre la viga apoyada sobre un costado, con el fin de evaluar la resistencia y rigidez bajo cargas de viento. Se observó que una persona podía hacer vibrar el modelo aplicando presiones isócronas. Despertaba preocupación que el viento pudiera inducir vibraciones similares en la viga del puente. Se consideró que la aplicación de una carga de 12 toneladas sería una prueba apropiada, bajo la cual la flecha fue de 3,21 pulgadas.

La prueba final se llevó a cabo en abril de 1847 y ya era demasiado tarde para influir en el proyecto de

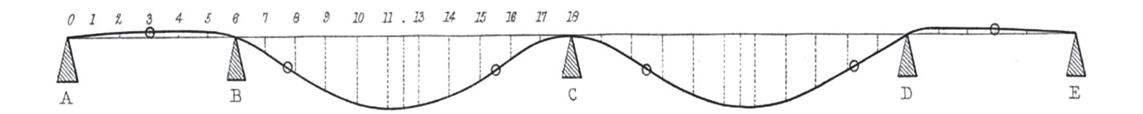


Figura 9
Deformación de un modelo de viga de madera apoyada sobre cinco soportes (Clark 1850, 462)

las vigas definitivas. Se observó, sin embargo, que esta fue la única vez que la viga modelo falló a compresión, lo que demostró la gran eficacia de los tubos cuadrados. Con las últimas chapas de refuerzo adicionales remachadas a la viga, el peso del modelo había aumentado hasta casi 7 toneladas, lo que supone un aumento de algo más de una tonelada. Sin embargo, este modelo soportó una carga de 86 toneladas en el momento del colapso —más del doble de la resistencia del modelo en el primer ensayo— un aumento notable puse sólo se había añadido un 20% más de hierro.

Clark describió un modelo final, de un tipo completamente diferente. Cuando se construyó, las vigas del puente Britannia se hicieron continuas sobre los tres apoyos intermedios. Esto se consiguió levantando el extremo de una viga mientras se unía mediante remaches a la siguiente, y repitiendo esta operación en los dos soportes siguientes (Figura 6). El motivo era reducir el momento flector positivo máximo en el centro de los dos grandes vanos. Esto produjo un momento flector negativo sobre los apoyos, por lo que las vigas finales del Puente Britannia tenían celdas rectangulares tanto en la parte inferior como en la superior de la sección transversal, para resistir las fuerzas de compresión (Figuras 7 y 8). Para calcular la deformada de esta viga continua y el lugar de los puntos de inflexión de la curvatura, Clark hizo un modelo sencillo de madera. Estaba hecho de Memel rojo, ½ pulgada cuadrada (12,5 mm) y 33 pies de largo. La deformada se midió cuatro veces y se tomó un promedio (Figura 9).

La curvatura mostrada en este diagrama (Figura 9) indicaba también las magnitudes relativas de los momentos flectores en los apoyos intermedios y fue la base para el cálculo del canto requerido de la viga rectangular, que variaba desde 30 pies en el tramo medio, hasta 27 pies en los pilares intermedios y 23 pies en los extremos (Fairbairn 1849, 184). Clark procedió a calcular las reacciones en cada soporte utilizando las fórmulas elásticas usuales para una viga continua. Esto fue, por supuesto, erróneo ya que el sistema es muy hiperestático, y una solución elástica no tiene sentido.

Discusión sobre la *semejanza*

— La premisa inicial sobre la semejanza entre el modelo y la estructura real se basaba en la teoría de la flexión simple, es decir, que la resistencia de vigas geométricamente semejantes varía según el cuadrado de sus dimensiones lineales, mientras que su peso varía según el cubo. Además, si a representa el área de la sección en el centro, d el canto de la viga, l la longitud de una viga cualquiera en pulgadas, y c una constante obtenida de una viga semejante, entonces, la carga de rotura W en el centro de la viga viene dada por (Clark 1850, 93, 107, 112):

$$W = \frac{a \cdot d}{l} c$$

Curiosamente, Clark da las dimensiones de c en toneladas. La razón es que la W se mide en toneladas, y las cantidades a, d y l se tratan como números adimensionales.

Hubo muchas discusiones a la hora de evaluar la 'semejanza' en los ensayos sobre modelos (Clark 1850, 184-205, 419-422, 788-789), pero, en realidad, el tema no va mucho más allá de las simples

reglas citadas anteriormente. El motivo de esta falta de claridad es probablemente que la discusión se mueve entre la resistencia última y el comportamiento elástico, y cuando se consideraba la resistencia última, no había modelos teóricos para el pandeo crucial de las chapas de hierro en la cara superior de la viga. También hubo ambigüedades derivadas de las diferentes contribuciones hechas por la carga aplicada y el peso propio, sobre cómo se deberían considerar en los cambios de tamaño, y también del hecho de que los modelos se cargaban con una carga central, en lugar de una carga uniformemente distribuida. Fairbairn, Hodgkinson y Clark tenían ideas ligeramente diferentes sobre la semejanza —Hodgkinson buscaba reglas generales que pudieran aplicarse a vigas de cualquier tamaño, como una extensión de la teoría clásica de la flexión. Fairbairn y Clark, sin embargo, buscaban respuestas útiles al problema particular de sus vigas de puente en el norte de Gales. Sus diferentes puntos de vista han sido discutidos en detalle por Denis Smith (Smith 1977, 201-208).

Conclusiones

El tamaño de los puentes de vigas en cajón de Britannia y Conway superó todo lo que se había construido anteriormente. Los ingenieros sabían que era esencial realizar algún tipo de ensayos sobre modelos, dada la insuficiencia de la teoría de que se disponía para tratar una sección tubular compleja, formada por chapas delgadas. Su principal objetivo era determinar la resistencia de la viga, pero también se obtuvo una base para calcular la contraflecha que había que dar a la viga para garantizar su horizontalidad cuando se sometiera a su peso propio. Aunque los ensayos fueron cuantitativos, se registró la relación carga-desplazamiento y la carga última de colapso, la principal contribución de los ensayos, tanto los preliminares a pequeña escala como los posteriores a escala 1/6, fue cualitativa. Demostraron la superioridad de la sección transversal rectangular; la eficacia de pequeñas celdas o tubos en zona de compresión de la viga para resistir el pandeo; expusieron la vulnerabilidad de las paredes laterales al pandeo lateral y demostraron la eficacia de los rigidizadores verticales para prevenir este fallo; permitieron conocer la mejor manera de colocar el material en la sección para asegurar que la parte superior e inferior fallaran simultáneamente, respectivamente en compresión y tracción.

Esta serie de ensayos marca sin duda el inicio de los ensayos de modelos estructurales modernos, aunque, curiosamente, hasta el siglo XX se realizaron pocos ensayos similares. La razón de ello fue el rápido desarrollo de la teoría de la flexión elástica y, desde principios del decenio de 1870, la capacidad de tratar con estructuras hiperestáticas. Es interesante que Benjamin Baker y John Fowler no realizaron pruebas de modelos durante el proyecto del Forth Railway Bridge en el decenio de 1880, aunque era una estructura de un tamaño sin precedentes. La siguiente vez que se usaron ensayos con modelos estructurales a gran escala fue para el proyecto de la presa de Boulder en Colorado en la década de 1930.

Lista de referencias

Addis, Bill. 2005. A history of using scale models to inform the design of structures. En: *Essays in the history of the theory of structures* (ed. Santiago Huerta). Madrid: Instituto de Juan Hererra, 9-44.

Addis, Bill. 2013. Toys that save millions' a history of using physical models in structural design. *The Structural Engineer*, 91 (4): 11-27.

Bailey, Michael. 2003. *Robert Stephenson – the Eminent Engineer*. Aldershot: Ashgate, 318-335.

Byrom, Richard. 2017. *William Fairbairn – The Experimental Engineer*. Market Drayton: Railway & Canal Historical Society.

Chilton J.C. 2000. The Britannia and Conway Tubular Bridges of Robert Stephenson. *Proceedings of IASS Symposium: Bridging Large Spans from Antiquity to the Present, Istanbul*, 193-204.

Clark, Edwin. 1850. *The Britannia and Conway Tubular Bridges, with General Inquires on Beams and on the Properties of Materials used in Construction*. London:-Day. (https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-29676 Consultado 4/2/2019)

Dempsey, George Drysdale. 1850. *Rudimentary Treatise on Tubular and Other Iron Girder Bridges: Particularly Describing the Britannia and Conway Tubular Bridges* […]. London: Weale. 92-132. (https://archive.org/details/tubularandother00unkngoog. Consultado 4/2/2019)

Fairbairn, William. 1849. *An Account of the Construction of the Britannia and Conway Tubular Bridges, with a Com-*

plete History of their Progress […]. London: Weale. (https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-29365 Consultado 4/2/2019)

Ryall, M. and J. R. Stephenson 1999. Britannia bridge: From concept to construction. *Civil Engineering* 132 (2):132-143.

Smith, D.P. 1977. *The role of structural models in the design of British bridges -1800-1870*. PhD Thesis. London: Imperial College. Chapter 4, Similarity, 201-208. (https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/22788/2/Smith-DP-1977-PhD-Thesis.pdf. Consultado 4/2/2019)

Swailes, T. 1996. 19th century cast-iron beams: their design, manufacture and reliability. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering* 114 (1): 25-35.

Comportamiento sísmico de la construcción tradicional Tamang en el norte de Nepal

José Agulló de Rueda
Francisco J. Castilla Pascual

Este artículo se escribe tras tres años de estancias periódicas (2016, 2017 y 2018) en el pueblo de Gatlang (Nepal) gracias a la ONG-Orche y con visitas a algunos de los pueblos de sus alrededores, todo ello en el distrito de Rasuwa a unos 150km al Norte de la capital Katmandú. La población de Nepal se divide por etnias que cubren los diferentes distritos, siendo Rasuwa mayoritariamente de la etnia Tamang, de cultura budista y de lejano origen mongol al igual que otras etnias de las montañas como los Gurung (zona del Annapurna) o los Sherpas (zona del Everest).

La arquitectura de la etnia Tamang es muy singular y guarda bastante parecido visual con la arquitectura de la Sierra negra de Guadalajara (España). Debido a la dificultad de acceso y grado de aislamiento de estas comunidades, la arquitectura utiliza mayoritariamente los materiales locales (piedra y madera) al igual que ocurrió durante muchos años en los lugares más alejados de las serranías de nuestro país. Esta característica es común a muchas otras comunidades de la cordillera del Himalaya, lo que permite aún hoy diferenciar estilos arquitectónicos asociados a grupos étnicos en distintas regiones. El estado primitivo de estas construcciones se ve progresivamente alterado por la inclusión de nuevos materiales, especialmente en zonas afectadas por sismos, como la que nos ocupa, donde la urgencia y necesidad de garantizar la seguridad de las nuevas construcciones ha dado lugar a reconstrucciones dispares e incontroladas.

Este artículo trata de hacer un análisis de la construcción de las viviendas Tamang, sus invariantes, un entendimiento de su comportamiento general ante factores medioambientales y un acercamiento a su comportamiento sísmico dado que muchas de ellas fueron parcial o totalmente destruidas durante el terremoto de mayo de 2015 pero otras muchas no lo fueron y en todas ellas se observan unas soluciones constructivas muy específicas para la resistencia a sismo aún con la muy escasa tecnología disponible. El objetivo final es permitir la recuperación de esta arquitectura, garantizando su seguridad estructural y acomodándola a las necesidades de habitabilidad actuales, pero intentando mantener los invariantes tipológicos que preserven su valor como conjunto de interés histórico, cultural y recurso turístico.

Ubicación: características geográficas y climáticas

Gatlang se encuentra situado en la zona geográfica de colinas (entre el valle de Katmandú y las altas montañas del Himalaya) a una altura media de 2.200m sobre el nivel del mar y según la clasificación climática de Köppen pertenece a la zona de clima subtropical en altura (Cwb). La orografía el terreno es muy abrupta con valles de pendientes muy pronunciadas, por lo que la población suele asentarse en aquellas zonas más abiertas de los ríos, en las partes altas o en las laderas soleadas, encontrándose muy dispersa. El año se divide en una estación húmeda de junio a septiembre, ya que el calor del vera-

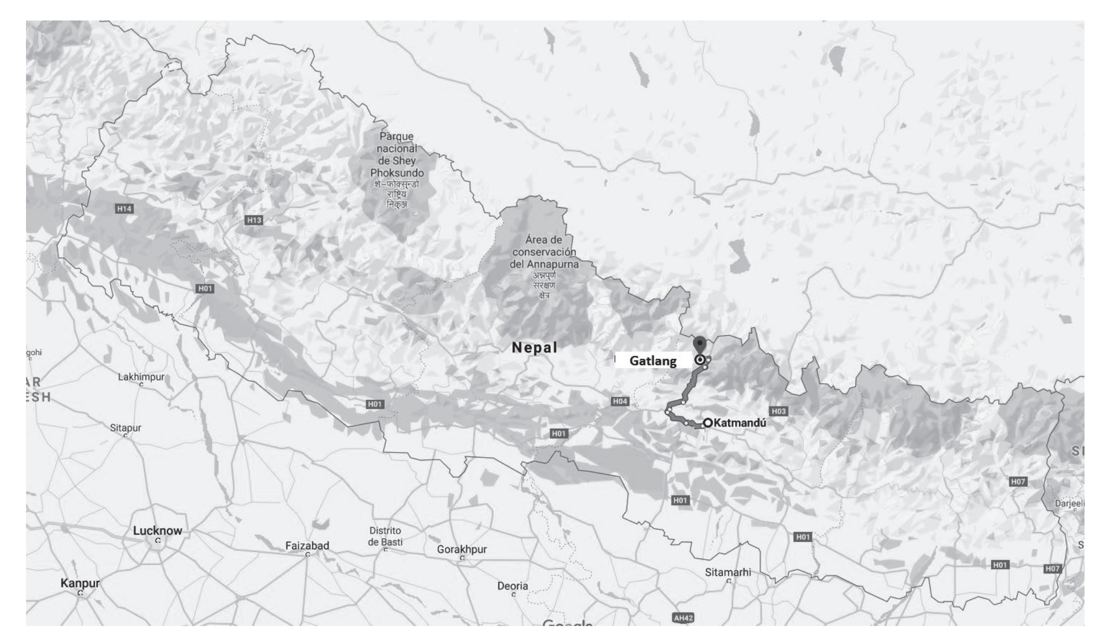


Figura 1
Localización del pueblo de Gatlang (www.google.es/maps)

no en Asia Interior crea una zona de baja presión que atrae el aire húmedo del Océano Índico, caracterizado por la presencia del Monzón, y una estación seca de octubre a junio, ya que las temperaturas frías en el vasto interior crean una zona de alta presión que hace que el aire seco fluya hacia afuera. Las temperaturas pueden alcanzar variaciones extremas de 30ºC entre día y noche en esta época. La precipitación generalmente disminuye de este a oeste del país, el área de Katmandú recibe unos 1.400 mm anuales Este patrón se modifica por los efectos adiabáticos a medida que las masas de aire ascendentes se enfrían y disminuyen su contenido de humedad en las pendientes de barlovento, luego se calientan a medida que descienden y la humedad relativa disminuye. Las lluvias disminuyen en septiembre y generalmente terminan a mediados de octubre, marcando el comienzo del clima generalmente fresco, claro y seco, así como el período más relajado y jovial en Nepal. Para estas fechas, la cosecha termina y el ambiente festivo caracteriza la vida local. Los dos festivales hindúes más grandes e importantes, Dashain y Tihar (Dipawali), llegan durante este período, con un mes de diferencia. La existencia de otros riesgos habituales como terremotos, tormentas eléctricas severas, inundaciones, deslizamientos son habituales según el momento, como se ha analizado en el Global Assessment of Risk (2009), lo que además de afectar a las construcciones y arruinar cosechas, complica el transporte y los caminos no pavimentados pueden quedar inutilizables

Urbanización, orientación y aprovechamiento climático

En el pueblo de Gatlang la urbanización sigue un orden muy claro (aunque irregular y sinuoso en su trazado) en hileras de viviendas adosadas con dirección norte-sur, escalonadas en el sentido de la máxima pendiente, ligeramente en dirección noreste. Las viviendas suelen construirse sobre terrazas sensiblemente horizontales donde se sitúan grupos de entre tres y cinco viviendas El terreno de pronunciada pendiente supone un inconveniente para poder elegir una ubicación adecuada conforme al soleamiento, por lo que los huecos principales de las casas se abren al este, con amplio espacio entre una hilera y otra. Este



Figura 2
Foto aérea del pueblo de Gatlang (Cedida por Alvaro Rodríguez)

espacio entre las hileras de viviendas es una zona de paso comunal y una zona de huertos que tras el sismo de 2015 se ha visto colmatada, en muchos casos, por viviendas provisionales de madera y chapa. Las consecuencias del sismo afectaron a casi toda la aldea, gran parte de las casas están derrumbadas o dañadas lo que obligó a sus habitantes a vivir en condiciones extremadamente precarias. Muchas de las zonas de paso están aún obstruidas por los escombros y se encuentra en un proceso de reconstrucción general, En el último año, estas viviendas provisionales se han visto convertidas en viviendas definitivas de ladrillo y hormigón gracias a las ayudas del gobierno y organizaciones internacionales que no han promovido la conservación de las tipologías propias de la arquitectura tradicional. La configuración de las viviendas permite aprovechar una envolvente de gran inercia térmica en casi todo el perímetro, a excepción de la fachada principal que es de construcción ligera y más permeable al aire. Las cubiertas inclinadas con grandes aleros evitan la acumulación de agua por escorrentía directa hacia los espacios intermedios de hileras de viviendas.

Tipologías de viviendas tradicionales

La vivienda tradicional en Gatlang no difiere de las encontradas en otros pueblos cercanos visitados como Chilime, Tatopani o Thulo Syabru pero el conjunto urbano es de los que se encuentra, por ahora, menos deteriorado. La tipología más habitual es la de vivienda cuadrada de unos 6x6m y dos pisos más bajo cubierta, y posiblemente es la tipología más antigua, la que se repite con mayor profusión en la población y a la que nos referiremos en este artículo. Existen otras tipologías menos frecuentes como la vivienda en L o de una sola planta rectangular más bajo cubierta, o viviendas de mayores dimensiones como se describen en Emergency Architects (2016).

A estas tipologías se están añadiendo a gran velocidad desde el terremoto del 2015 otras más modernas con configuraciones constructivas y estructurales muy diversas.



Figura 3
Foto del escalonamiento de las viviendas (Autores)



Figura 4
Foto de la tipología de vivienda reforzada (Autores)

Descripción de la arquitectura: volumen, dimensiones y usos

La tipología de vivienda a la que nos referimos en esta comunicación, se caracteriza por sus gruesos muros de piedra (uno de ellos medianero) de 60 cm de espesor, y su fachada artesanal labrada en madera. Tanto la cubierta, estructura y particiones interiores son igualmente de madera. La vivienda se distribuye del siguiente modo: planta baja destinada a almacén o cuadras, generalmente sin compartimentar y piso de tierra compactada, con cerramiento de madera o piedra retrasado respecto al piso superior, lo que permite un espacio exterior cubierto, y una puerta de acceso; planta principal a la que se accede por un zaguán o balconada exterior cubierta por un gran alero, que sirve en muchos casos de secadero o almacén. El espacio interior puede aparecer más o menos subdividido, permitiendo alojar entre 3 y 5 personas. En la actualidad la mayoría de las viviendas mantienen: una sala principal que ocupa algo menos de los dos tercios de la planta, donde se encuentra la chimenea /cocina (y que hace las veces de salón-dormitorio) y en su perímetro se dispone el mobiliario y espacios de almacenamiento (con unas dimensiones medias de 3,20x5,70 m). La otra parte suele estar ocupada por un pequeño zaguán, por donde se realiza el acceso, un espacio intermedio de almacenamiento (y de acceso al bajo cubierto) y una pequeña sala que sirve de dormitorio (2,00x3,00m) El acceso al espacio bajo cubierta, cuando este es aprovechable, se realiza mediante una escalera de mano. La disposición de estos espacios generan distintas composiciones en fachada, en las que el zaguán, la balconada o el frente del bajo cubierto tienen mayor o menor presencia; aunque sin duda el elemento diferenciador de la mayoría de las viviendas es el ventanal central trigeminado, que permite la iluminación y ventilación del espacio interior (junto con pequeños huecos que a veces se abren en la fachada opuesta) y que está decorado con diferentes motivos geométricos labrados en los paneles y listones de madera que lo conforman. El espacio bajo cubierta se ventila a través de la propia cubierta que no es estanca al aire y se ilumina mediante pequeñas perforaciones con distintos motivos geométricos en los paneles de la fachada principal.

La altura libre de las plantas es de 1,90m a 2,00m y el espacio bajo cubierta entre 0,80m y 1,50m en la parte de la cumbrera.

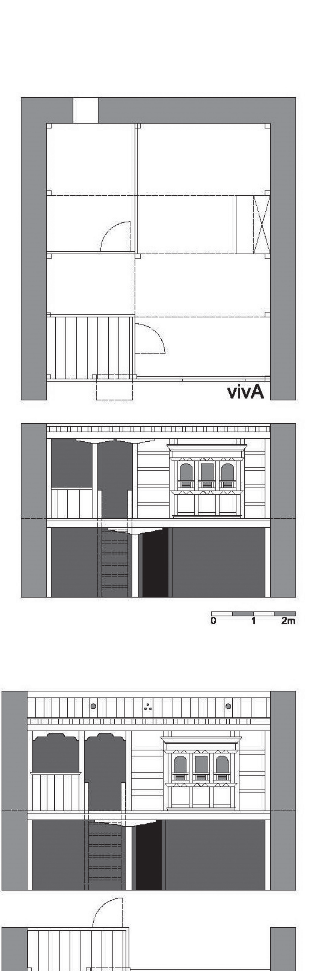




Figura 5
Dibujo de las fachadas tipo (Autores)



Figura 6
Fotos de la tipología de viviendas A (Autores)

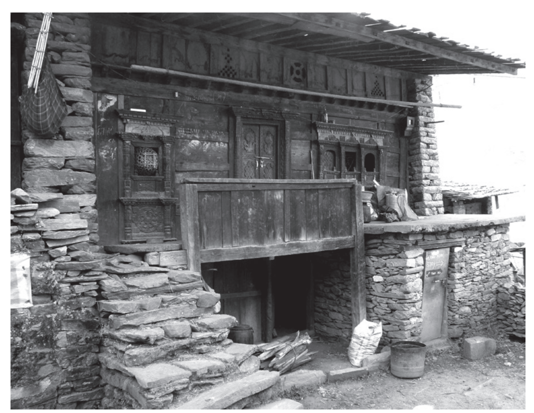


Figura 8
Fotos de la tipología de viviendas C (Autores)

En las figuras 8 y 9 se recogen esquemas de la fachada principal y las imágenes correspondientes, en las que se aprecia la evolución. La vivienda A corresponde a la tipología más sencilla, en la que el espacio bajo cubierta es prácticamente inaprovechable y no se manifiesta en fachada, y el zaguán (de mayores dimensiones) hace las funciones de espacio de almacenamiento; la vivienda B tiene un espacio bajo cubierto más prominente y se reconoce en la composición de la fachada, el zaguán es más reducido; en la vivienda C se ha añadido la balconada exterior, lo que permite tener un espacio bajo cubierto en planta baja mayor, y la escalera de piedra. En algunos casos este espacio se complementa con alguna construcción adicional que amplía el espacio de almacenamiento cerrado y la superficie de balconada o terraza, siendo un lugar habitual de estancia, para realizar labores domésticas, en el exterior de la vivienda.



Figura 7
Fotos de la tipología de viviendas B (Autores)

Otro de los elementos singulares son las escaleras de acceso, de madera ensamblada y fácilmente retirables en la mayoría de los casos, o conformando un sólido volumen de piedra en uno de los extremos.

Descripción del sistema constructivo y estructural

La vivienda tradicional se conforma con una envolvente muy pesada de piedra que aloja una estructura más ligera de madera, casi independiente, en su interior. El muro de piedra tan solo presenta uno o dos huecos cuadrados en la fachada Oeste, de escasas dimensiones (0,60m x 0,60m), con dinteles fabricados con la propia piedra y carpinterías sencillas de una sola contraventana sin vidrio. Se puede apreciar como con la incorporación de carpinterías de madera más más modernas (de doble hoja) y vidrio, algunos huecos se han ampliado hasta los 0,90m.

La estructura de los pisos se conforma con pies derechos de madera, de sección cuadrada (de entre 10 y 12 cm de lado) y vigas de un solo tramo de sección prácticamente cuadrada (de entre 10cm y 15 cm de canto) configurando pórticos de cuatro vanos (1,50m de luz) perpendiculares a la fachada principal (uno central y dos adosados a los muros perimetrales). So-



Figura 9
Foto del pueblo antes del terremoto (www.facebook/asfnepal)

bre estos y en sentido perpendicular, se sitúan cinco vigas de madera de sección similar, coincidentes con los pies derechos, y que por un lado sirven para el apoyo de las particiones interiores y por otro ayudan al comportamiento estructural a sismo, el forjado está formado por tablones de madera (8x25cm de dimensiones medias) apoyados entre vigas.

Esta estructura se repite tanto en el primer piso como en el segundo, condicionando en cierta manera la distribución del espacio interior en la planta habitable. Por lo general en el segundo piso, sólo se mantienen los pies derechos extremos y centrales de cada pórtico, desapareciendo los intermedios.

La cubierta está formada por grandes tablones de madera solapados en hileras horizontales que van contrapeándose del alero a la cubierta (entre 8 o 10 hileras, según el desarrollo de la cubierta y el solape). El sistema de sujeción es completamente por gravedad, mediante listones entrecruzadas por encima, sujetos con piedras, lo que también conforma una de las imágenes más características del lugar, a pesar de la profusión de lonas y paneles de chapa, consecuencia de las reparaciones de emergencia tras el terremoto de 2015.

Estas piezas descansan sobre tres órdenes de elementos estructurales: la viga cumbrera y las vigas intermedias (horizontales), cuya disposición suele coincidir con las vigas del piso, pero apoyándose en los muros hastiales perimetrales, los pares (inclinados), dispuestos cada 0,40m, que suelen ser de una pieza desde la cumbrera al alero y en la fachada principal sobresalen entre 1,00m y 1,50,m del plano de

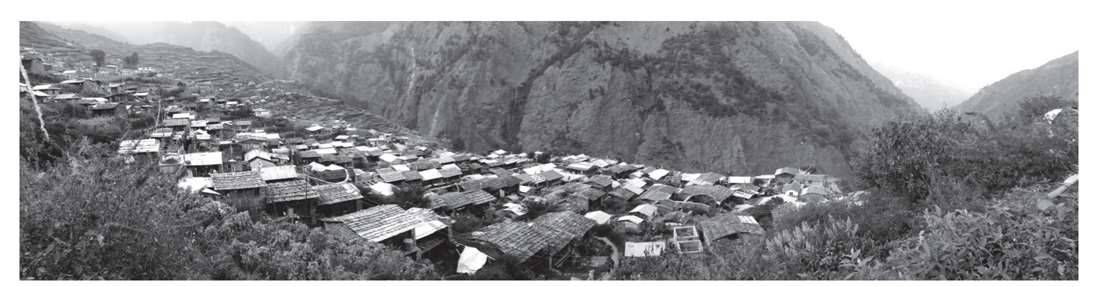


Figura 10
Foto del pueblo después del terremoto (Autores)

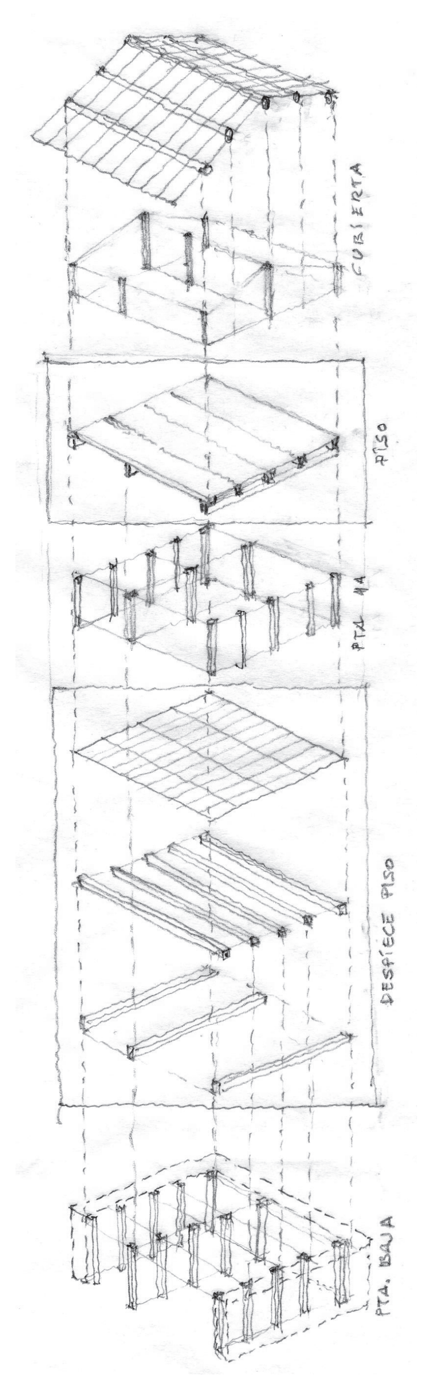


Figura 11
Dibujo de la construcción de la vivienda tipo (Autores)

cerramiento de fachada, con canecillos labrados en su extremo, y las correas (horizontales), conformadas frecuentemente con cañas o medias cañas de bambú, sobre las que se colocan las tablas.

Los ensambles entre pilar y vigas suelen hacerse a caja y espiga, mientras que entre vigas son a media madera. No es habitual el uso de clavos. En la fachada principal, las vigas descansan sobre unas amplias zapatas a modo de capiteles, tanto en la planta baja como en la principal.

Como cierre de este entramado, en la fachada principal, se realiza una fina labor de carpintería, con piezas ensambladas, más propias de ebanistería que de carpintería de armar. La fachada se descompone en paneles de entre 40 y 50 cm de ancho, unidos por listones de 10 a 12cm, que se interrumpen para alojar la pieza principal que conforma los huecos y su recercado.

Materiales estructurales

Dos materiales básicos conforman la estructura de los edificios, la piedra en forma de mampuestos irregulares de esquisto de los que no se tienen datos específicos sino genéricos y la madera que son piezas escuadradas provenientes de Cedros del Himalaya (Cedrus Deodara).

De la madera se tiene datos de la propia normativa Nepalí (nbc 112: 1994) que indica en su tabla 2 tensiones de diseño en flexión 10/mm^2 (para madera en interiores), 0’7N/mm^2 en cortante transversal y 7’7N/mm^2 en compresión paralela a la fibra (para madera en interiores) con un módulo de elasticidad de 9’3N/mm^2. Y también se tienen datos tomados «in situ» mediante ensayos sobre 14 vigas actuales y métodos bastante rudimentarios que dieron módulos de elasticidad medios en torno a 5’3N/mm^2. Acorde a CTE-DB-SE-M o Eurocódigo 5, los valores de la normativa nepalí darían una clasificación C-18 mientras que las ensayos «in situ» darían una C-14.

De la fábrica se tienen pocos datos. Las propiedades de la piedra no son relevantes puesto que son valores elevados y para las propiedades del contacto entre piedras podrían tomarse los valores dados por Parajuli (2015) que indican un coeficiente de rozamiento de 0’60 aunque vienen referidos a morteros de barro que no se usan en nuestra zona.

Comportamiento de la estructura ante carga vertical

Cargas

La estructura soporta unas cargas permanentes muy bajas, solo las tablas de espesor rondando los 8cm y el propio peso de la estructura que no superarían los 0'5-0'7kN/m^2. Las sobrecargas de 2kN/m^2 y 1'0kN/m^2 de tabiquería indicadas en (Indian Standards. 1998) (la norma de acciones India a la que directamente se refiere la norma nepalí «NBC 103-1994 Occupancy Load»). Respecto a las cargas de cubierta, la carga de mantenimiento para la inclinación de estas cubiertas está en 0'4kN/m^2 y la carga de nieve según (Indian Standards, 1997) (que es de nuevo una norma de acciones India directamente referida por la norma nepalí «NBC 106-1994 Snow Load») no está definida ante la falta de datos climáticos donde no se aclara los valores de nieve a nivel de suelo necesarios para obtener la carga de nieve en cubierta.

Comportamiento teórico de las estructuras frente a carga vertical

En cubierta los tres órdenes de elementos horizontales transmiten la carga vertical a los pies derechos y a los muros de carga. En los forjados las tablas de gran espesor hacen de losas de forjado entre vigas y de las vigas sólo un orden está pensado para transmitir la carga vertical a los pies derechos, el orden en el que apoyan las tablas y que como se ha observado va paralelo a las fachadas. Las tablas son biapoyadas entre vigas y suelen ir encajadas y ayudadas por algún clavo suelto. Las vigas suelen ser continuas de lado a lado del edificio y ello implica longitudes en torno a 6m.

Todas las uniones entre elementos lineales son teóricamente articulaciones pero deben transmitir algo de momento para que ante acciones horizontales la estructura de madera sea estable. El apoyo de los pies derechos al suelo suele hacerse mediante unas basas de piedra sin empotramiento alguno y por lo que se observa en la mayoría de las viviendas y transmite la población local es que los pies derechos se cambian con cierta frecuencia, la planta baja es húmeda y en algunos casos es recorrida por pequeños cauces de agua. Es curioso que las vigas de cubierta si apoyan en los muros de carga perimetrales pero en el resto de plantas las vigas apoyan en los pies derechos hasta el suelo.

Análisis de la estructura frente a carga vertical

Haciendo un análisis de la estructura de madera frente a carga vertical se observa que la estructura vertical está demasiado ajustada y muchos pies derechos fallarían a resistencia. Las vigas interiores están excesivamente justas por resistencia aunque las deformaciones son admisibles gracias sobre todo a lo escaso de las cargas permanentes y por tanto a las pocas deformaciones diferidas. En cualquier caso la estructura de las viviendas que no ha sido dañada por el sismo no tiene patologías salvo cuando intervienen otros factores como la durabilidad. Las cargas reales que soportan las estructuras tras observar muchas viviendas parecen menores que las indicadas por las normativas nepalíes (que son equivalentes a las europeas) dado que hay muy poco mobiliario y la vida es muy al exterior.

Comportamiento de la estructura ante un sismo

No parece haber duda de que las estructuras tradicionales de la construcción en Nepal han sido capaces de resistir sus últimos grandes sismos (1934, 1988 y 2015) como han documentado algunos autores (Gautam, 2016). Las características físicas de estos sismos pueden encontrarse en Chamlagain (2015). Podemos entender el comportamiento sísmico de los edificios, primero por la observación de los efectos en los edificios y segundo por la modelización matemática que simule la realidad.

Observación de daños en los edificios tras el sismo

Las estructuras de los edificios Tamang están claramente diferenciadas entre los muros perimetrales de piedra y el entramado de madera. Los muros formados por piedras sin mortero tienen el gran problema de desmoronarse lanzando las piedras de las partes con menos carga vertical como son los hastiales. Además de la falta de mortero, la irregularidad de las piedras hace los apoyos entre piedras muy inestables



Figura 12
Foto de una vivienda dañada por el sismo del 2015 (Cedida por Beatriz López-Terradas)

antes incluso de un sismo y muy sensibles por tanto a acciones horizontales. La estructura de madera en la mayoría de los casos se ha mantenido en pie aunque con elevadas deformaciones debidas a la falta de triangulación vertical. La estructura de fábrica no tiene ductilidad y sufre de rotura muy frágil, la estructura de madera si tiene gran ductilidad lo que la permite resistir con grandes deformaciones.

La interacción entre ambas estructuras durante los sismos puede producir también el colapso. Se observa habitualmente que las piedras desprendidas son las que han hundido en su caída estructuras de madera de los edificios ladera abajo. Y se observa con menos frecuencia que los movimientos oscilatorios de las estructuras de madera han golpeado los muros de piedra provocando su colapso.

Tal como se describe en Singh (2016), las causas habituales de colapso en los edificios de Nepal tienen que ver con la falta de elementos trabajando a tracción en la fábrica, que pudieran minimizar los problemas anteriores. No existen en la fábrica atados horizontales ni verticales hechos con los materiales tradicionales como madera o caña de bambú. Los horizontales ayudan al muro a trabajar a flexión (positiva) ante acciones horizontales confinándolo y los verticales a evitar la rotura frágil por cortante. Tampoco existen refuerzos en las esquinas que pudieran ayudar a la flexión horizontal (negativa) de los muros. Otros estudios (Gautam, 2015; Sherestha, 2015) incluyen la ausencia de arriostramientos o el desplome de los muros fuera de su plano como las causas más comunes de colapso en la arquitectura tradicional y en Adil, (2017) se puede ver un estudio más exhaustivo de los fallos de las estructuras de fábrica a sismo.

Por último, no existe en los edificios de la zona ningún elemento que separe la estructura sobre rasante de la cimentación para atenuar las vibraciones sísmicas cuando es reconocido como uno de los métodos más básicos antisismo como indican en Tamang (2016). En otras zonas geográficas como Sudamérica si existe este sistema a base de capas de arcilla con propiedades tixotrópicas que plastifican cuando se someten a vibraciones, permitiendo el aislamiento de la estructura. En nuestra zona de estudio no hay constancia de arcillas y menos con estas propiedades.

Comportamiento teórico de las estructuras frente a sismo

Tras observar las estructuras y los daños sufridos, un primer análisis conceptual nos permite corroborar algunas de las patologías observadas. Siguiendo la transmisión de las acciones horizontales a lo largo de la estructura observamos lo siguiente:

En los muros de fábrica,

- Las piedras independientes de las partes más altas con muy poca carga vertical, inestables y sin recibir cargas de cubierta se desplazan en horizontal y caen en el propio edificio o en los adyacentes.
- Las piedras de las partes intermedias y bajas sufren desplazamientos pero no llegan a salirse del muro, lo que produce grietas verticales típicas en las esquinas de los muros y deformación curva entre muros perpendiculares al salirse del plano.
- Los huecos en los muros son muy escasos.

En las estructuras de madera,

- Los tablones de forjado funcionan como diafragma rígido en horizontal y sólo en algunos casos se han visto levantamientos que indiquen un fallo del diafragma.
- Las vigas principales perpendiculares a fachada y las secundarias paralelas cierran los dia-



Figura 13
Foto del entramado de vigas, viguetas, tablones y pies derechos (Autores)

fragmas. Las uniones trabadas entre vigas por durabilidad o mala ejecución a veces se ven descolocadas, las holguras en la ejecución provocan movimientos muy elevados.

— Los pies derechos transmiten los esfuerzos horizontales por flexión dado que no hay triangulaciones. La flexión soportada es muy pequeña porque los empotramientos son mínimos y por ello los pilares sufren grandes deformaciones y vuelcos. Ello provoca el contacto de la estructura de madera con la de piedra.

Las cargas sísmicas

Las cargas y los métodos de cálculo pueden encontrarse en (nbc 105: 1994). Para edificios de menos de 40m de altura puede usarse el método simplificado del "Seismic Coefficient Method" que tomando un periodo de vibración de 0'28seg (acorde a fórmula 7.4), frecuencia 3'6Hz y un terreno intermedio Tipo II da un coeficiente C=0'08/T=0'27. El resto de coeficientes acorde a la normativa serían Z=1 (según mapa), I=1'0 (viviendas) y K=4'0 (muros de fábrica) para un resultado final de Cd=1'07 (Indicaría un sismo de 1G). El cortante basal será V= Cd*W= 210kN para un peso total de 200kN.

El terremoto de 2015 tuvo algunas características que son explicadas en Parajuli (2015) y muy específicas para las estructuras de fábrica.

Análisis de la estructura frente a sismo

No es fácil la simulación de estructuras de fábrica formadas por piezas sueltas irregulares sin mortero como son los casos estudiados y según Parajuli (2009) no supone excesiva diferencia en el comportamiento sísmico la inclusión de mortero dado que se produce, en el primer pico de aceleración, la rotura frágil del mismo. En las modelizaciones mediante FEM publicadas puede observarse la mejora en el comportamiento gracias a las bandas horizontales de materiales resistentes a tracción que las edificaciones estudiadas no tienen.

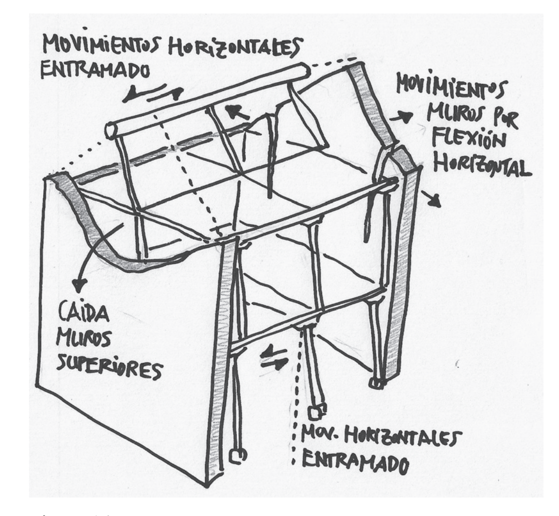


Figura 14
Dibujo de los daños habituales tras un sismo, sin llegar al colapso (Autores)

Un análisis aproximado exclusivamente del comportamiento de la estructura de madera con nudos empotrados, apoyos articulados en el terreno (Modelo en Tricalc 11.01) y un sismo de 1'0G nos da idea de algunos valores interesantes aunque es difícil hacer un estudio fino sin conocer el terreno de la zona. El periodo de vibración de la estructuras de madera es de 1seg (frecuencia 1Hz), el desplazamiento horizontal de los dos forjados: 12'0cm en planta primera, 18'0cm en planta segunda y similar en cubierta. Estos desplazamientos son bastante más elevados que la distancia existente entre la estructura de madera y la estructura de piedra, que ronda los 3-5cm. Además se observa que la mayoría de los pies derechos y vigas fallarían a resistencia y que los momentos viga pilar son muy elevados y, a falta de un análisis más detallado, no parece que se pudieran resistir.

Conclusiones

Tras estudiar las tipologías de las viviendas tradicionales Tamang en el pueblo de Gatlang (Nepal) y analizar su comportamiento estructural se observan varios aspectos importantes.

- Desde un punto de vista urbanístico y climático, la organización de las viviendas en el pueblo sigue unas pautas muy claras de orientación Norte-Sur y de apertura de los huecos a Este, adaptándose al clima y a la difícil topografía del lugar.
- Desde un punto de vista constructivo las viviendas se basan en el uso de la piedra en tres muros y el uso de la madera de Cedro en el muro restante y en toda la estructura interior, particiones, puertas y la propia cubrición. Los muros de piedra sin ningún tipo de mortero. El aislamiento, impermeabilización y estanqueidad de las viviendas es bajísimo y hay una ausencia casi total de instalaciones.
- Desde un punto de vista estructural, el armazón de madera está prácticamente desligado de los muros de piedra tanto para transmitir cargas verticales como horizontales y la holgura entre ellas permite un comportamiento independiente para sismos aparentemente menores a escala 7-8 pero no para los mayores como el sismo de 2015. Dado que la tecnología es escasa las uniones son delicadas y mediante encajes, no existen arriostramientos, no hay separación del terreno y la durabilidad es baja.
- Las mejoras en el comportamiento sísmico pasarían por la utilización de arriostramientos para rigidizar la estructura de madera y dado que la piedra no es estable de forma independiente, vincularla a la de madera de modo que queden tramos confinados y a ser posible con las piedras tomadas con mortero. Es el trabado de la piedra con la madera lo que puede alterar más la imagen de la arquitectura tradicional.

Lista de referencias

Adil M., Rashid A. y Narayanan S. 2017. Constructional deficiencies in masonry structures and seismic risk.*Research Gate publication/321137011*.

Bureau of Indian Standards. 1997. *Code of practice for design loads (other than earthquake) for buildings and structures*.

Bureau of Indian Standards. 1998. *Code of practice for design loads (other than earthquake) for buildings and structures*.

Chamlagain D. y GautamD..2015. Seismic hazard in the Himalayan intermontane basins: an example from Kathmandú valley Nepal. *Research Gate publication/265417750*.

Emergency Architects. 2016. «*Study of habitat typologies and solutions for their seismic reinforcement Nepal*». Francia: www.archi-urgent.com.

Gautam D., Rodrigues H., Bhetwal K. y Sanada Y..2015. Observed damage patterns on buildings during 2015 Gorkha (Nepal) earthquake. *Research Gate publication/283324459*.

Gautam R., Pajaprati J., Valencia K., Kumar K. y Neupane P..2016. Disaster resilient vernacular housing technology in Nepal. *Geoenviromental Disasters 2016 3:1*.

Global Assessment of Risk. 2009. *Nepal country report.* Nepal: ISDR-UNDP.

Gobierno de Nepal. 1994. *Nepal building code nbc 105: 1994 seismic design of buildings*.

Gobierno de Nepal. 1994. *Nepal building code nbc112 : 1994 timber*.

Parajuli H..2009. *Dynamic analyses of low strength masonry houses based on site specific earthquake ground motions*. Japón: Kyoto University.

Parajuli R. y Kiyono J. 2015. Ground motion characteristics of the 2015 Gorkha earthquake, survey of damage to

stone masonry structure and structural field tests.*Frontiers in build environment10.3389/fbuil.2015.00023*.

Sherestha B. 2015. *Reconnaissance investigation on the damages of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal*. Australia: Center for Infrastructural Protection and Monitoring, Curtin University.

Singh A., Jawaid A. y Ram S.. 2016. A study on earthquake resistant construction in Nepal. *IJRASET Volume 4 Issue IV, April 2016*.

Tamang P. y Gupta K. 2016. Study on earthquake resistant building-base isolation. *IJETT Volume 33 Number 9-March 2016*.

A Água no Real Edifício de Mafra: Actores do Projecto Hidráulico

Ana Patrícia Alho
Pedro Machado

«ElRei terá filhos se quizer.» Com estas enigmáticas palavras de Fr. António de S. José, ou da Índia, (…) nos primeiros meses de 1711, começaria segundo a tradição, a história daquele que haveria de converter-se no maior empreendimento do reinado: O Real Convento de Nossa Senhora e Santo António de Mafra. (Pimentel, 2002, 115).

A princípio, estipula o Rei em diploma legal datado de 26 de Setembro de 1711, que «(...) Hey por bem conceder lisenca por esmolla que no distrcto de da Villa de Mafra se funde hum convento dedicado ao mesmo santo; lotado para assistirem nelle treze relligiozos sómente; (...)» (Pimentel, 2002, 115).

A 21 de Janeiro de 1713, é feita a avaliação dos terrenos escolhidos por D. João V. São nomeados António Soares de Faria e Máximo de Carvalho, tesoureiro e escrivão da receita e despesa da obra do Convento respectivamente, por carta régia de 19 de Julho de 1714.

No ano de 1716 dá-se início aos trabalhos com a abertura dos alicerces, empregando-se neles entre 400 e 600 homens.

O Lançamento da primeira pedra fez-se nos alicerces de um cunhal da Basílica, a 17 de Novembro de 1717 (Moreira, 115).O local escolhido para este grandioso edifício foi o Alto da Vela em Mafra.[1] A escolha do local para a construção do Real Edifício de Mafra e a constituição de uma comunidade com 300 religiosos, teve em conta as condições geográficas e os recursos naturais existentes, entre eles: a existência de pedreiras próximas para a construção (Sintra e Pêro Pinheiro) - a pedra que serve de base a toda a construção é o lioz, extraído de um conjunto de pedreiras situadas dentro ou nas imediações do «Distrito de Mafra»; largas manchas florestais que forneciam madeira para a construção e combustível e, por fim, água em abundância (Pagará, 2017, 74).

A Tapada Nacional de Mafra, estende-se por quatro bacias hidrográficas:

– uma delas, ocupa uma pequena parcela de terreno, junto à porta da Barroca, pertencente à bacia do ribeiro que se desenvolve no vale do Gradil;
– a outra, abrange em toda a sua extensão, a maior área da Segunda e Terceira Tapada, pertence à ribeira do Sobral,
– localizando-se a terceira na primeira Tapada, no rio Cuco[2]
– e a quarta na Primeira Tapada, n o Ribeiro da Vidigueira.[3]

É importante notar e não esquecer que no mapa da autoria de Manuel da Maia, datado entre os anos de 1738 e 1744, encontra-se traçado com o maior pormenor o conjunto edificado, bem como a estrada que se ia construindo de Lisboa a Mafra, existindo o lançamento de uma linha «meridiana», correspondente à divisão de Lisboa em Ocidental e Oriental e que passa precisamente sobre o sitio de Mafra, sendo mesmo pelo lugar da Vela, que vem assinalado com a menção «A linha notada de pontos hé a recta q se



Figura 1
Planta da Tapada de Mafra. 1855 (ANTT - PT-TT-CR-007-007-00185_m0002_derivada (1)

meio lançou de Lisboa até Mafra» (Pereira 2017, 73-77). Não devemos esquecer também que a localização do Real Edifício de Mafra poderá ter tido em conta a teoria de Rafael Moreira (Moreira 2017, 28-37). que, defende a ligação do conjunto mafrense ao oceano, através da suposta «Avenida do Sol» que deveria ligar o terreiro da basílica a algum porto marítimo próximo, tratando-se de um canal, que ligaria o porto da Ericeira ao Real Edifício.

O Convento foi inicialmente habitado por franciscanos, substituídos em 1771 pelos cónegos regrantes de Santo Agostinho que nele permaneceram cerca de 20 anos, findo os quais voltou a ser ocupado pelos franciscanos até ao ano de 1834 (Pires, 1997), data da extinção das ordens religiosas em Portugal. O Palácio foi ocupado pelas tropas de Junot no ano de 1807 e, um ano mais tarde pelo exército Inglês que aí permaneceu até 1828.

O número de operários envolvidos na construção do Real Edifício chegou a atingir aproximadamente as 50000 pessoas, sendo necessária a criação de casas provisórias na zona adjacente ao edifício,[4] as quais se tornaram posteriormente na actual Vila Nova (Pereira 1994).

O arquitecto escolhido para esta grande obra é comprovadamente, João Federico Ludovice, que produz um primeiro projecto em que é delineada a igreja de grande porte e as dependências conventuais situadas a Norte do Templo.

> Mandou ElRey fazer vários riscos, e rezolveo que se executasse o que fez João Federico Luduvici Allemão de nação oficial de ourives de prata, que havia muitos anos assistia nesta Corte, e pella sua Coriozidadde insigne Architeto (Pereira 2017, 23-77).

No ano de1718, inicia-se as contratações não apenas de pessoal para trabalho braçal, mas também de técnicos.

De Junho a Outubro de 1730 chegariam a concentrar-se 45000 pessoas, a que se acresceriam ainda

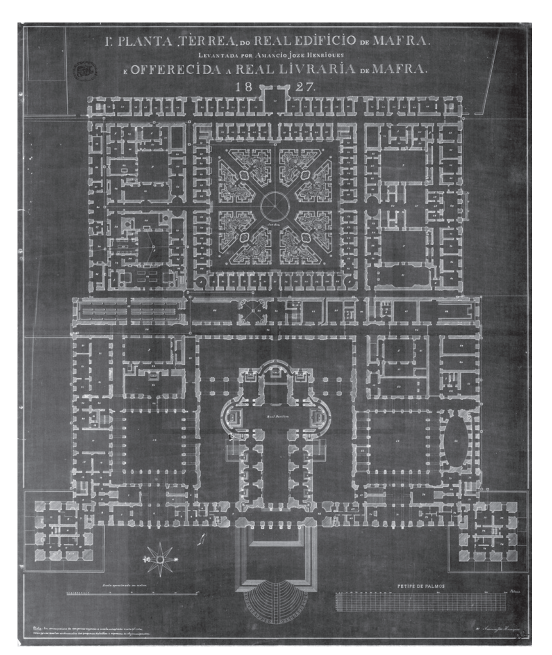


Figura 2
Planta de Amâncio José Henriques encomendada por D. João VI. 1827 (ANTT - PT-TT-CR-007-007-00202_m0002_derivada)

7000 soldados, contudo, o número de trabalhadores desce drasticamente no ano de 1731, passando para 10000 operários e cerca de 6000 soldados. Devido a isso, o ritmo dos trabalhos foi abrandando. Em 1733, com os exteriores em grande parte concluídos, decide-se concluir a obra pelo sistema de arrematação, em duas empreitadas distintas: uma para o edifício em geral e outra para o zimbório, impondo-se, porém, o prazo de três anos para a sua conclusão. A partir desse momento e não obstante a mão-de-obra achar-se reduzida a pouco mais de 3000 operários, os trabalhos recuperaram o novo alento (Pimentel 2017, 38-51). No ano de 1744 processam-se novas arrematações destinadas à construção do extenso muro da Tapada, conforme as notas do tabelião mafrense Martinho Roussado. Assim, a 7 de Agosto, Felício Nunes Pereira e Gregório Coelho arrematam os lanços Casal do Cuco (Murgeira) e Codeçal (Telhadoiro); a 21 de Agosto, Bento Ferreira arremata o troço Abrunheira (Outeiro do vale da Guarda); e finalmente a 22 de Agosto, Luís da Silva arremata o lanço Torreão Norte (Rio do Cuco) (Pimentel 2017, 38-51).

Já no reinado de D. José, em Agosto de 1751, ainda se procedia a correcções nos pagamentos de expropriações de terras, referentes à área entretanto ocupada pelo convento, palácio, cerca e Tapada.

No ano de 1755 procedeu-se aos pagamentos finais a mestres empreiteiros de pedra (Pereira 1994).

Numa época em que é feito o levantamento geral de vários Paços Reais e, devido ao facto de não terem sobrevivido os desenhos originais do Real Edifício, D. João VI requisita o levantamento integral do edifício a Amâncio José Henriques, tendo sido finalizado o trabalho no ano de 1827 e composto por quatro plantas. Durante esse período Fr. João Sant'Ana compõe a sua descrição do edifício, escrevendo «Real Edificio Mafrense. Visto por fora, e por Dentro», concluído um ano depois. Esta descrição tem por base uma descrição anterior e muito completa realizada por Carvalho Monteiro (Monteiro 1744) no ano de 1744.

Actores da construção do Real Edifício de Mafra e do seu sistema hidráulico

Em obras de grande envergadura, como era o caso do complexo de Mafra, normalmente existem dois responsáveis, o engenheiro militar que dirigia a obra[5] e o arquitecto que faria os «desenhos» (Moita 1990). Assim, faremos uma análise biográfica sobre os intervenientes no estaleiro de Mafra com maior importância na hidráulica, e nas opções tomadas no decorrer da construção do Real Edifício de Mafra.

João Frederico Ludovice

João Frederico Ludovice (1673-1752), natural da Alemanha, Filho de Peter Ludwig e de Elisabetha Rosina Engelahrdt, nascido em Hohenhart, de uma família de juristas e militares com interesses artísticos, fez os seus estudos básicos no liceu de Halle, aprendeu o ofício de ourives em Ulm e estagiou em Regensburg e Augsburg. No final do século XVII foi para Roma, onde terá trabalhado na igreja de Jesus, ao serviço dos Jesuítas, convertendo-se ao catolicismo. Em 1700 casa com Chiara Agnese Morelli, e trabalha na igreja do Gesù, no altar de Santo Inácio,

executado por Andrea Pozzo. A convite dos Jesuítas no ano de 1701, vem para Lisboa com a finalidade de realizar um sacrário para a igreja de Santo Antão de Lisboa. Foi na Rua dos Canos, local onde viveu, que viu nascer o seu filho João Pedro Ludovice (1701-1760), e perdeu a sua esposa durante o parto.

Atraiu a atenção do futuro D. João V, que apadrinhou o seu filho e o chamou para arquitecto régio.

Dos vários trabalhos que lhe são atribuídos alguns têm uma grande importância para a construção da época, entre eles: a reconstrução da capela-mor da Catedral de Évora, o seu palácio da Quinta de Alfarrobeira (Benfica), a sua casa em São Pedro de Alcântara (1747), a igreja de São Domingos no Rossio (1748), ou mesmo a sua intervenção no desaparecido Paço da Ribeira, e os trabalhos de engrandecimento da Capela Real (Bonifácio, 2017, 80-99).Outra obra importante é a Igreja de São Vicente de Fora em Lisboa (1580-c.1620), onde Ludovice assumirá as funções de director da obra após o falecimento de Mateus do Couto. Ainda se viu envolvido no processo de decisão do Aqueduto das Águas livres de Lisboa.

Por decreto de 11 de Setembro de 1750, já no reinado de D. José (Piloto 1952), Ludovice é nomeado Arquitecto-Mor do Reino, com patente e soldo de brigadeiro.

Filipe António Gavila Mulet e Adriano Gavila

Logo no início da obra de Mafra há que contar com o recrutamento dos valencianos Filipe António Gavila Mulet e Adriano Gavila, respectivamente pai e filho. Sabemos que Filipe Gavila estaria ao serviço do rei desde o ano de 1718, data fundamental, para a preparação do estaleiro e dos seus principais encarregados. Filipe Gávila era, um oficial com ampla experiência na arquitectura militar e matemático. Tendo-se distinguindo na obra de Mafra, onde foi responsável pelo arrasamento a tiro do monte da Vela, para ampliação dos jardins do horto do convento, e pelo abastecimento de água para os operários que aí trabalhavam. Viria, também, a estar ligado à obra do Aqueduto das Águas Livres, onde se documenta a sua intervenção, eventualmente na definição de fontes, mãe de água e caudais numa vistoria datada de 20 de Agosto de 1732 (PILOTO 1952).Teve um papel determinante na organização do estaleiro, mas ainda maior na infraestrutura da obra, na sua dimensão inicial e depois na sua dimensão definitiva, o que justificou o seu reconhecimento e consequente nomeação como tenente-coronel de infantaria (Pereira 1994). Concordamos com a opinião de Paulo Pereira (Pereira 2017, 23-77) quando afirma que é a Filipe de Gávila que se devem as decisivas intervenções ao nível das fundações e cotas inferiores, responsabilizando-se pelo sistema de adução (Maciel 2009)[6] de águas e esgotos, organização das pedreiras, recepção dos materiais construtivos e participação na montagem da «ilha da madeira» onde se acolhiam os trabalhadores (Pereira 1994).

O seu filho, Adriano, inicia a carreira no exército português com a patente de «ajudante de infantaria com exercício de engenheiro» e trabalhou na Real Obra de Mafra ao seu lado, tal como verificamos a partir de um requerimento em que se constata que «tem feito o descobrimento das aguas da real obra de Mafra e condução delhas, assi para o convento, fronteira e demais partes, com o mayor zelo e cuidado». A sua Carreira estender-se-ia à India, será sucessivamente capitão (1732) (Pereira 1994) e tenente-coronel (1738) (Pereira 2017, 51-67).

João Pedro Ludovice (1701-1760)

De referir que, de todos os pareceres pedidos sobre a matéria dos canos, só Ludovice e Manuel da Maia defenderam os canos de pedra, como acabaram por ser construídos (Moita 1990) o que nos dá a conhecer a importância que tiveram nas opções hidráulicas tomadas ao longo da construção do Real Edifício de Mafra.

Custódio Vieira (1682-1744)

A participação de Custódio Vieira em obras oficiais terá sido significativa, sendo-lhe atribuídas, sem comprovação documental, obras como a intervenção na construção do Palácio de Vendas Novas e no Aqueduto das Águas Livres, neste último caso, apontado como o autor da parte que vence o vale de Alcântara.

Teve uma participação significativa na obra do Real Edifício de Mafra, onde está desde o ano de

1733 até 1735, assumindo a direcção das obras após o falecimento de João Baptista de Barros.

Este período coincidiu com a presença de Ludovice, como podemos comprovar através de um documento do Conselho da Fazenda em que se menciona a necessidade de se construir uma conduta de água para o Convento, devendo para esse fim ser consultados Vieira e Ludovice.[7]

Manuel da Maia (1677-1768)

É de sua responsabilidade o estabelecimento de uma meridiana, que aparece explicita numa das suas Plantas. Essa meridiana foi determinante no traçado da estrada real que unia Lisboa a Mafra (Bonifácio 2017, 80-99). A ele se deve a captação e condução de água na Tapada, desde o forte do Sonível até ao Palácio-Convento de Mafra. «A determinação do local adequado à implantação do monumento de Mafra foi, não há duvida, criteriosamente calculada, tendo intervindo para o efeito os engenheiros Manuel da Maia, empregue na indagação das águas para a Real obra de Mafra, a que não só demarcou o caminho, e fez a sua representação, alçados e ponderações» mas também responsável por «sinalar meridianas assim em Mafra como em outras partes» (Gandra 2005).

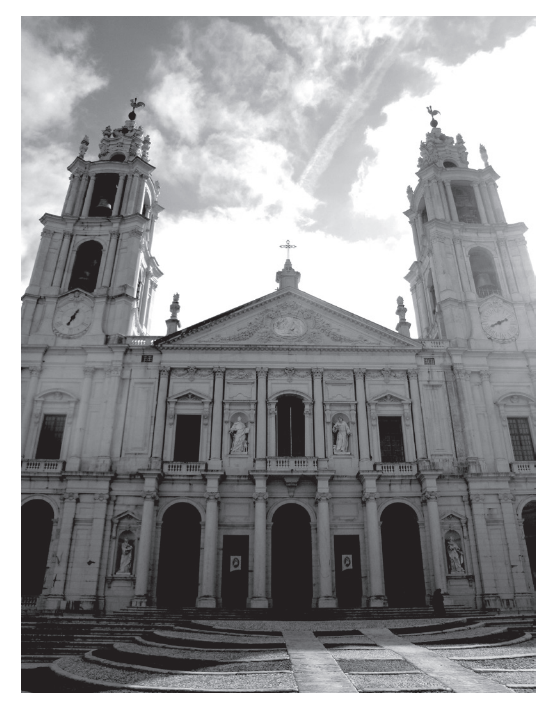


Figura 3
Basílica de Mafra. 2018 (Foto: Patrícia Alho)

As Sociedades de Mestres Empreiteiros

António Baptista Garvo era filho de Carlos Baptista Garvo, que foi mestre no Real Edifício de Mafra. Trabalhou com o pai, em Santo Antão e em Mafra, onde depois da sua morte (1724) lhe sucedeu no posto. Em 1731 foi contratado para a continuação das obras de Mafra, tendo como companheiros, entre outros Alberto Caetano e Manuel da Costa Negreiros, que seriam seus parceiros também nas obras do Aqueduto das Águas Livres de Lisboa (Moita 1990).

Breves Conclusões

Tendo em conta estas notas biográficas dos actores presentes na construção do Real Edifício de Mafra, estamos em condições de crer que João Frederico não é o responsável pelo projecto hidráulico, mas sim Manuel da Maia e os Gávila, já experientes neste campo de saberes e técnicas. Outro aspecto de grande relevância é o facto de considerarmos que o estaleiro de Mafra, serve como ponto de ensaio, para a construção do Aqueduto das Águas Livres de Lisboa, esta conclusão deve-se ao facto de os actores serem os mesmos e também as soluções encontradas para captação e distribuição das águas serem idênticas.

Notas

1. Projecto de recuperação do Jardim do Cerco em Mafra, Instituto Superior de Agronomia.
2. O Rio Cuco nasce na Primeira Tapada, perto da Carreira de Tiro, e abandona-a junto à Porta da Paz, na Ponte do Cuco. Seguindo pelo Vale da Carreira, e passando por Santo Isidoro vem desaguar na Praia de Ribeira de Ilhas.
3. O Ribeiro da Vidigueira, nasce na Primeira Tapada, perto da Porta Vermelha, e abandona-a na Horta dos Frades, segue a Norte da Serra do Carrascal, juntando-se ao Rio Lisandro entre a Serra do Coxo e a Serra do Forte.

4. A «ilha da madeira» era composta por oito enfermarias, Boticas, cozinhas e uma ermida de madeira.
5. Era quem superentendia toda a construção, era o que efectivamente levantava o edifício e se preocupava com todos os aspectos técnicos.
6. Com efeito, executam-se de três maneiras as aduções de água: por canais, através de condutas de concreto, por canos de chumbo ou por tubos cerâmicos.
7. ANTT, núcleos extraídos do Conselho da Fazenda, Casa das Obras e Paços Reais, Livros 81, fl. 28 e seguintes.

Lista de Referências

ANTT - PT-TT-CR-007-007-00202_m0002_derivada

ANTT, núcleos extraídos do Conselho da Fazenda, Casa das Obras e Paços Reais, Livros 81, fl. 28 e seguintes

Bonifácio, Horácio. 2017. *Do tratado à obra. Génese da Arte e Arquitectura no Palácio de Mafra – Sobre os arquitectos de Mafra*, pp. 80-99.

Gandra, Manuel J. 2005. *O Monumento de Mafra visto por estrangeiros. Seen by foreigners. Vu par étrangers. Visto por estranjeros (1716-1908).* Mafra: Câmara Municipal de Mafra.

Moita, Irisalva. 1990. *D. João V e o abastecimento de Água a Lisboa*. Lisboa: Câmara Municipal.

Monteiro, Carvalho. 1744. *Relação do Convento de Santo António de Mafra suas oficinas e Pallácios que se fundarão misticos* [contíguos] *ao dito Convento. Oferecido a ElRey N. Snr. D. José o 1º por Guilherme José de Carvalho Bandeira, official dos Carros da meza da Consciencia e Ordens.*

Moreira, Rafael, Mafra. 2017. A «alameda» e o canal da Ericeira. *Monumentos*, 35: 28-37.

Pagarà, Ana, Mafra. 2017. A Real Obra de mafra. Da escolha do sitio à urbanização de uma «cidade efémera». *Monumentos,* 35: 74.

Pereira, José Fernandes. 1994. *Arquitectura e Escultura de Mafra. Retórica da perfeição*. Lisboa: Presença.

Pereira, Paulo. 2017. *Do tratado à obra. Génese da Arte e Arquitectura no Palácio de Mafra,* pp. 23-77.

Pereira, Paulo. 2017. João Frederico Ludovice. Um Arquiteto para El-Rei. *Monumentos*, 35: 51-67.

Piloto, João A. 1952. A vida e obra do arquitecto João Frederico Ludevice. Separata da *Revista Municipal de Lisboa*, 52.

Pimentel, Filipe. 2017. Do Real Convento de mafra ao Real edifício. *Monumentos*, 35: 38-51.

Pires, Nuno Lemos. 1997. *Roteiro Histórico da Escola Prática de Infantaria*.

Projecto de recuperação do Jardim do Cerco em Mafra, Instituto Superior de Agronomia

Santa Anna, Frei João de. 1828. *Real Edifício Mafrense visto por fora e por dentro:_ou descripção exacta, e circunstanciada do regio palacio, e convento de Mafra externa e internamente considerados, com a explicação das plantas, que deste magni co e admiravel Edificio levantou, Amancio José Henriques, Segundo tenente da Marinha, e Ajudante Architecto da Caza do Risco das Obras Publicas, e Director das do dito Real Edifício*. Mafra. Biblioteca do Palácio Nacional de Mafra.

Estudio histórico-constructivo de la Iglesia de Rubielos de Mora

A. Alonso-Durá
V. Llopis Pulido
A. Martínez Boquera
L. Mazarredo Aznar

La antigua Iglesia de Rubielos de Mora, población catalogada en 2005 como bien de interés cultural en la categoría de Conjunto Histórico, se situaba en los extramuros de la población. La investigación documental data de 1580 los propósitos iniciales de construir una Iglesia en el intradós de la muralla que delimitaba la población.

En 1593 se convoca un concurso para el trazado de la Iglesia, este concurso fue ganado por los maestros Pedro del Etro, Pedro Magallón y Jaime de Eltoda, quienes establecerán las primeras trazas de la edificación. Definitivamente el proyecto de ejecución se encargó al maestro Juan Cambra, quien inició la construcción en 1604. La nueva Iglesia, ex colegiata de Santa María la Mayor, se situaría en el barranco, en una posición elevada, y sobre un terreno de arcillas expansivas además de una canalización cubierta con bóveda de piedra (figura 1). Pedro Ambuessa continuaría en 1616 con las modificaciones en el nuevo coro. En 1617 se cubre la nave central y las capillas laterales y en 1659 se inician las obras de construcción de la torre.

De planta rectangular de 28,5 m de ancho y 54,5 m de largo de una sola nave con cuatro tramos rectangulares y seis capillas laterales con bóvedas de crucería. El coro, cubierto con bóveda nervada estrellada, remata la planta de la Iglesia. La torre de 44 metros de altura, situada al lado del coro, está compuesta por tres cuerpos de planta cuadrada y un último nivel de planta octogonal rematado con cúpula (figura 2).

Las intervenciones realizadas en la Iglesia datan de 1986 y se centran fundamentalmente en la Torre, consistieron en la sustitución del forjado y refuerzos en las vigas de cubierta, en el zunchado perimetral de la cúpula que corona la Torre, además se renovaron los balaustres de remate y las tejas de cubierta, así como la restauración de las gárgolas y el rejuntado de la fábrica de piedra. La segunda intervención tiene lugar en 2003 y se limita únicamente a la sustitución de carpinterías y acondicionamiento del interior de una de las capillas, por último en 2015 se interviene en la cubierta.

En la actualidad la Iglesia presenta grietas importantes en las bóvedas de la nave y en la bóveda del altar, los arcos fajones muestran desprendimientos y fisuras, los contrafuertes presentan desplomes y los muros perimetrales muestran humedades en su base, la madera empleada en las vigas de la cubierta presenta xilófagos (figura 3, figura 4).

Toma de datos, estudios previos

A partir de la nube de puntos del Escáner Láser se ha elaborado el levantamiento geométrico del conjunto de la Iglesia, por medio del programa Escuadra (Alonso 2012) es posible la visualización así como el manejo de la nube de puntos. Lo más relevante de este programa es que permite convertir estos puntos de coordenadas x, y, z en puntos reconocibles por CAD. El proceso para la generación de planos con-



Figura 1
Iglesia de Rubielos de Mora. (Marqués de Santa María del Villar 1938)

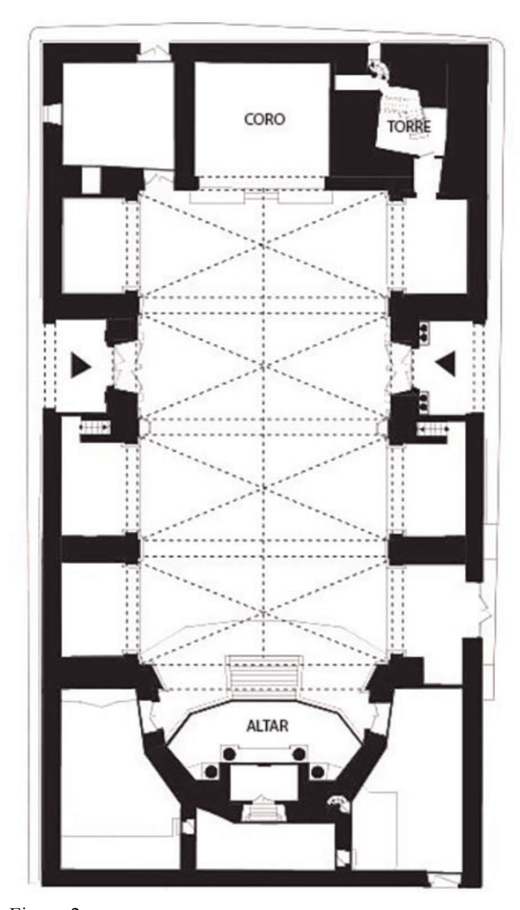


Figura 2
Planta Iglesia de Rubielos de Mora. (López-Luzcando 2018)

siste en el trazado a partir de los puntos exportados a CAD de las líneas que configuran las secciones, alzados y plantas (figura 5).

Junto con el estudio de la nube de puntos se ha realizado un total de 19 secciones, a partir de ellas se han obtenido las deformaciones verticales y horizontales, reproduciendo el estado actual, además se ha podido establecer los valores de descensos máximos.

Se han medido las deformaciones horizontales a una altura de 1.70 metros y 7 metros de altura, para la altura de 1.70 se han obtenido valores de ancho de nave de 16.25, 16.17 y 16.27 metros, las medidas



Figura 3
Grietas en bóvedas de la nave principal. (Llopis 2018)



Figura 4
Desprendimientos en arco fajón y bóvedas del tramo central (Llopis 2018)

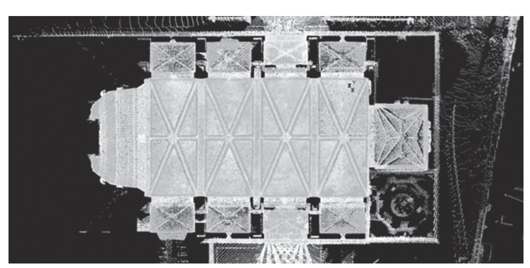


Figura 5
Nube de puntos de la Iglesia Rubielos de Mora. La toma de datos fue realizada por el equipo técnico perteneciente al Departamento de Expresión Gráfica de la Universidad Politécnica de Valencia

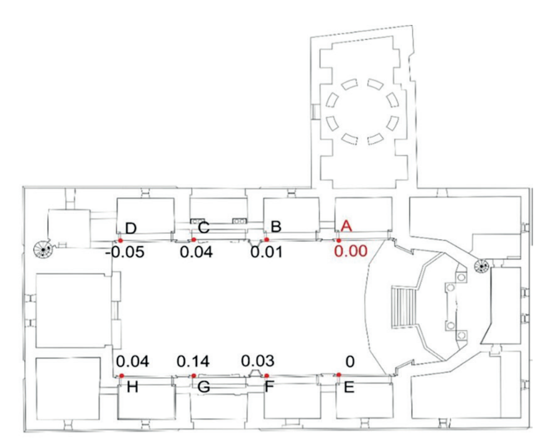


Figura 6
Planta deformaciones verticales. (Llopis 2018)

para la altura de 7 metros son de 16.21, 16.15 y 16.33 m para el primer, segundo y tercer contrafuerte respectivamente, por tantos trata de variaciones horizontales bajas.

Seleccionado el primer contrafuerte (el que está situado contiguo al altar), se han obtenido desplomes con valores más elevados en el segundo y tercer contrafuerte. De estos desplomes se observa que los contrafuertes situados en el lado de la torre los que presentan los máximos desplomes alcanzando un valor máximo de 10 cm.

Tomando como punto de referencia el punto A (figura 6) se extraen las siguientes deformaciones verticales medidas en el arranque y en la cornisa de los contrafuertes que se recogen en la tabla a continuación (tabla 1). Los descensos se concentran en la Torre con un valor de 5 cm con respecto al punto de referencia A, en el punto G el valor es máximo positivo de 14 cm, lo que indica una diferencia de 19 cm entre los dos puntos (separados una distancia de 17.60 m). La máxima deformación vertical de 14 cm en el punto G (tercer contrafuerte) coincide con el resultado obtenido en la cornisa de valor 15 cm en ese mismo punto.

Si trazamos una línea horizontal sobre una sección longitudinal a la altura de las claves y tomamos como punto de origen la clave de la bóveda situada a los pies, se observa que el resto de claves se sitúan en un nivel inferior con referencia a esta línea, el valor obtenido en la tercera crujía es de 15 cm mientras que en el segundo tramo es de 38 cm siendo el valor máximo obtenido en la bóveda del primer tramo de 60 cm.

Estos valores de descensos tan elevados pueden estar motivados por dos causas, o bien tienen relación con el terreno donde se asienta la Iglesia o pueden ser debido al sistema constructivo de la cubierta, en este punto la toma de datos se centra y profundiza fundamentalmente en obtener más información en estos dos campos:

No se ha realizado estudio geotécnico en el terreno donde se asienta la Iglesia pero se han obtenido los resultados de los sondeos mecánicos próximos al terreno donde se ubica la Iglesia. Los resultados documentados verifican que se trata de un terreno arcilloso de baja permeabilidad, y con el nivel freático estable en torno a unos 6 metros de profundidad. Las arcillas tienen valores de plasticidad que indican altas tasas de expansividad, con una presión

	B	C	D	E	F	G	H
Arranque	-0.09	-0.13	-0.07	-0.12	-0.10	-0.05	-0.05
Cornisa	+0.01	+0.05	-0.04	0.00	+0.04	+0.14	+0.04

Tabla 1
Deformaciones verticales en arranque y cornisa de los contrafuertes (cotas en m)



Figura 7
Intradós de la Cubierta, sistema de entrevigado (Llopis 2018)

de hinchamiento de 1,47 Kg/cm^2, como indica el estudio geotécnico esto puede suponer un riesgo al provocar empujes verticales y asentamientos desestabilizadores.

Centrándonos en el segundo campo de investigación, el sistema constructivo de la cubierta a dos aguas, está formado por vigas de madera que descansan en los arcos fajones y en los muros perimetrales. Sobre las anteriores vigas apoyan los nervios longitudinales que reciben la cubierta y a lo largo de su longitud sobre puntales que descansan directamente sobre las bóvedas. En la imagen a continuación se muestra la arbitrariedad del sistema de apoyo de la cubierta, así como la heterogeneidad de las secciones de las vigas (figura 7).

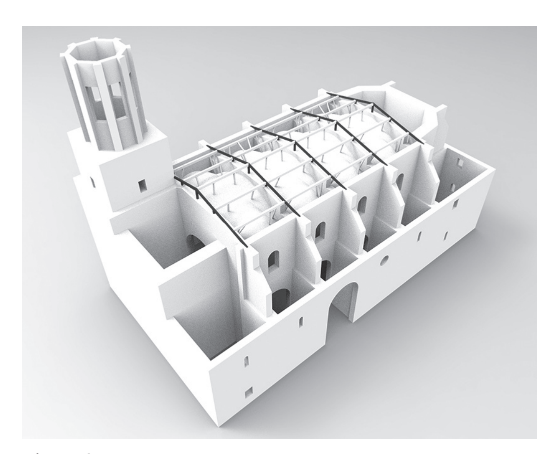


Figura 8.
Sistema constructivo cubierta, vigas de apoyo en arcos fajones (Llopis 2018)

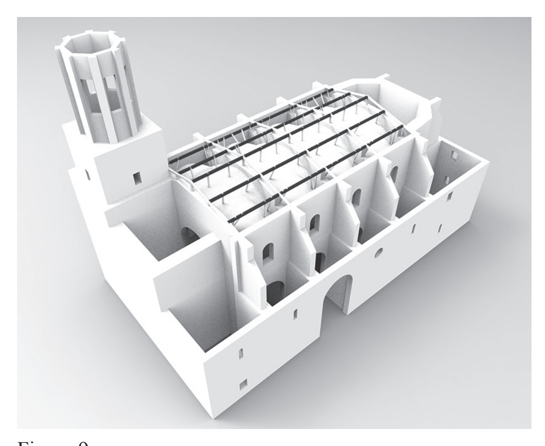


Figura 9
Sistema constructivo cubierta, vigas longitudinales (Llopis 2018)

Se ha elaborado un volumen de la Iglesia especificando el esquema del sistema constructivo de la cubierta, las secciones y los apoyos representados son aproximados a los reales, esta documentación se ha obtenido a partir de la toma de datos in situ (figura 8, figura 9, figura 10, figura 11).

Cálculo estructural, análisis límite

Se ha elaborado un estudio estructural de análisis límite por medio de estática gráfica que permite eva-

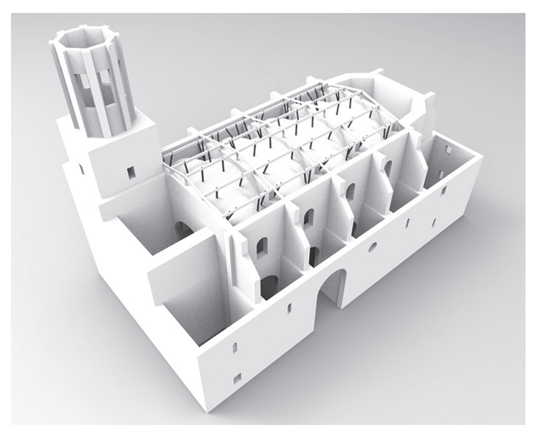


Figura 10
Sistema constructivo cubierta, durmientes (Llopis 2018)

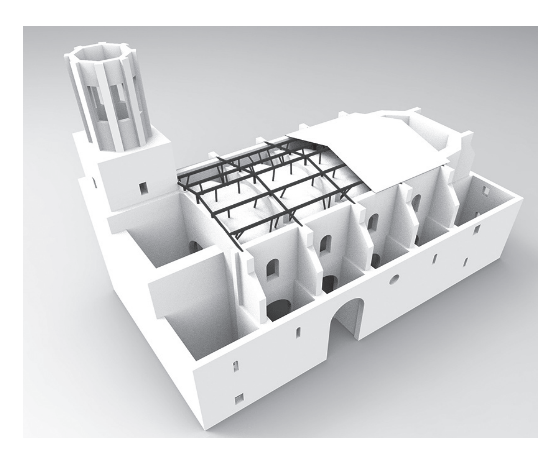


Figura 11
Conjunto del sistema constructivo de la cubierta (Llopis 2018)

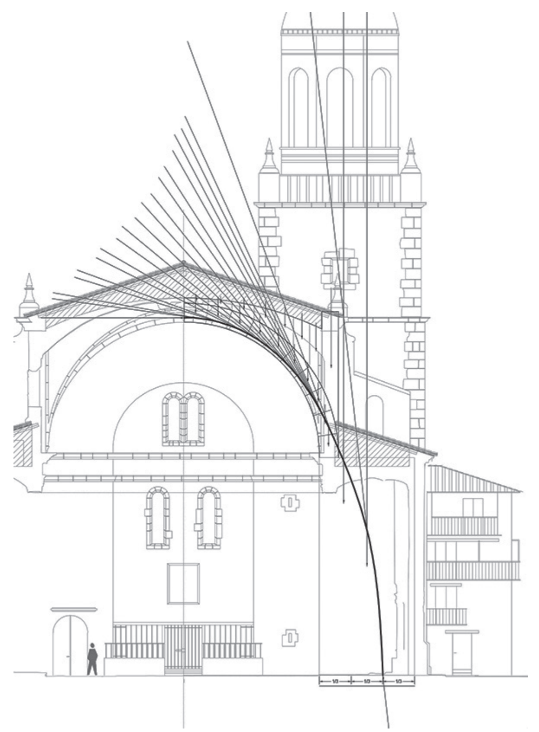


Figura 12
Estática gráfica Iglesia Rubielos de Mora, empuje total en la base de la pilastra (Llopis 2018)

luar la estabilidad de la Iglesia. Aplicando la teoría de Análisis Límite (Heyman1995, Heyman1999; Huerta 2004, Huerta 2005), la fábrica se considera como un conjunto de bloques no deformables que no resiste tracciones, sólo compresiones. El rozamiento entre los bloques es tan alto que impide el deslizamiento, además suponemos que las tensiones de trabajo son bajas por lo que no existe fallo por resistencia.

Si es posible encontrar una línea de empujes contenida en su interior la estructura es estable, ya que sólo es posible conseguir el equilibrio trabajando en compresiones de esta manera. El grado de seguridad vendrá indicado por el trazado geométrico, dependiendo de la distancia entre la línea y el trasdós o intradós del arco, por lo que el coeficiente de seguridad lo entendemos como un coeficiente de seguridad geométrico.

Para este análisis se ha utilizado el programa de cálculo Bóvedas (Alonso 2002), se ha elaborado un modelo a partir de la geometría obtenida por el escaneado láser en la que además se han incluido los desplomes reales. El modelo analizado reproduce un tramo del arco fajón en su estado actual (O'Dwyer 1999).

Se ha trazado la línea de presiones hasta la base del contrafuerte, como se observa en la sección transversal de la Iglesia el empuje total queda en el límite del tercio central, el arco es estable y no presenta problemas frente a su peso propio (Ochsendorf, Hernando y Huerta) (figura 12).

Se ha realizado una simulación numérica del comportamiento estructural del edificio para considerar el suelo sobre el que se asienta la Iglesia (Boquera et al. 2010). Se parte de un modelo de sólidos 3D realizado a partir del levantamiento gráfico y de la nube de puntos. Este modelo lo componen los elementos estructurales básicos del edificio: la torre, muros, contrafuertes, arcos fajones y bóvedas (Lourenço 1998; Roca et al. 2010).

La cubierta se introduce en el modelo por sus cargas, pero no aportan rigidez al conjunto. Del modelo de sólidos se realiza un mallado de 111585 elementos tetraédricos, que configuran los elementos portantes principales que son del material mampostería. A este modelo se añade la plementería de las bóvedas tabicadas de ladrillo de unos 10-12 cm. de espesor de promedio, contando los recubrimientos del intradós y extradós, con un mallado de elementos superficiales de 11423 láminas triangulares con las propiedades de

MATERIAL	Densidad. Kp/m3	Módulo Deformación. E (Mpa).	Coeficiente Poisson.	Resistencia compresión. fc (Mpa).	Resistencia tracción. Ft (Mpa)
Mampostería. Muros y fajones.	2100	10000	0,18	3	0,05
Fábrica de ladrillo. Bóvedas.	1800	7000	0,2	2	0,1
Piedra. Dovelas de nervios.	2400	20000	0,2	8	0,3

Tabla 2
Valores empelados en el Análisis estructural de la Iglesia de Rubielos de Mora

membrana y placa. Los nervios diagonales de dovelas de piedra de las bóvedas se modelan con 679 elementos tipo barra. No se dispone de ensayos de los materiales de la estructura, por lo tanto se consideran valores habituales de los parámetros mecánicos de la mampostería, fábrica de ladrillo y piedra (Alonso-Durá et al. 2012) (tabla 2).

Se ha realizado un análisis no lineal con modelo de daño escalar para el material, el modelo constitutivo de daño utilizado reproduce con suficiente aproximación el comportamiento tenso-deformacional del material fracturado. El modelo utiliza un índice escalar de daño (d), de valor: $0 \leq d \leq 1$, variando entre 0 para el material sin dañar, al valor 1 para el punto material fracturado. El valor del índice d de cada punto de la estructura está en función del estado tensional y las resistencias de compresión y tracción (Alonso-Durá et al. 2013).

La simulación considera un suelo deformable heterogéneo como se ha obtenido del estudio geotécnico próximo a la Iglesia y se pretende aproximar al estado de asientos que se han observado en el edificio y a la presencia de rellenos y arcillas expansivas. Para modelar este comportamiento del suelo se han considerado diferentes módulos de balasto asignados a las diversas partes de la cimentación. Como no hay datos del suelo por informe geotécnico es imposible reproducir con cierta precisión el comportamiento del suelo real, los resultados de este análisis sólo son una aproximación a las causas de los daños observados.

Las deformaciones verticales son mayores y con variaciones diferenciales más bruscas, como corresponde al patrón de asientos que se ha introducido en el modelo, que no es el real por el motivo que se ha indicado anteriormente, al desconocerlas propiedades reales del suelo sobre el que se asienta la Iglesia, pero que sí produce lesiones similares a las observadas.

Las lesiones son generalizadas concentrándose más en la zona de las puertas enfrentadas de entrada Norte-Sur (figura 13). El patrón de lesiones no coincide exactamente con las lesiones reales, puesto que la hipótesis de deformaciones y propiedades del suelo no es la real. Pero manifiesta claramente que la causa de las grietas y fisuras es el comportamiento del suelo, como era previsible. Las fracturas en la fábrica se producen por tensiones de tracción, y no por aplastamiento, pues los valores de las tensiones de compresión en todos los casos son inferiores a la resistencia a la compresión. En cambio los movimientos diferenciales del suelo son los responsables de las tracciones en las fábricas y por ello de las fracturas.

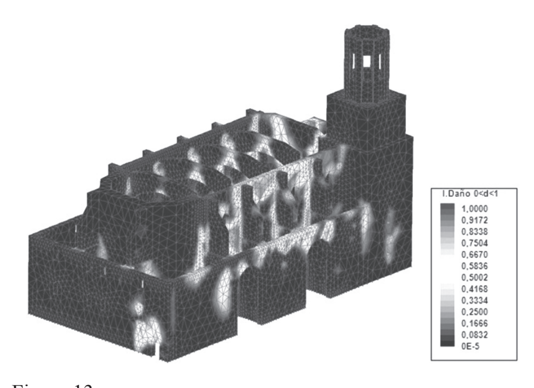


Figura 13
Estado de daño-lesiones de la fachada Norte (Adolfo 2018)

Conclusiones

Se han realizado tres tipos de análisis: determinación de deformaciones a partir del levantamiento con el escáner-laser, análisis límite y análisis estructural del edificio completo en 3D, realizando un cálculo no lineal con un modelo de daño escalar.

Del análisis de las deformaciones se distinguen dos aspectos, las deformaciones de las bóvedas de la nave central, son las deformaciones mayores según se puede observar a partir de los resultados obtenidos. Estas deformaciones, aparte de los asientos generales de los muros y contrafuertes, son debidas principalmente a la fractura de las bóvedas producidas por las cargas puntuales aplicadas por los puntales que descargan parte del peso del tejado directamente sobre las mismas.

Los asientos y desplomes de muros, pilastras y arcos fajones, son deformaciones diferenciales importantes sin un claro patrón, que corresponden a un suelo heterogéneo. Aunque la construcción data del siglo XVII tratándose de rellenos y arcillas expansivas y presencia de agua, es previsible que las deformaciones no estén estabilizadas, y puedan ser tanto asientos, hundimientos, como hinchamientos, expansión, con una variación estacional. Para plantear una intervención en la cimentación es necesario proceder a un estudio específico del suelo, tanto para conocer sus propiedades y estratos como su comportamiento en el tiempo, según condiciones estacionales, de humedad etc.

Del análisis constructivo-estructural se concluye que la estructura del edificio, atendiendo a su geometría, dimensionado de arcos, contrafuertes, muros y pilastras funciona correctamente. No se producen estados de empujes y tensiones que fracturen las fábricas. Las lesiones que sufre la estructura se deben a la deformabilidad del suelo, cuestión que corrobora la idea inicial debido al tipo de suelo, los antecedentes y las deformaciones observadas.

En la actualidad se ha planteado intervenir en la cubierta, reorganizando el sistema de sustentación del tejado eliminando todos los puntales que descargan sobre las bóvedas, además de asegurar la impermeabilidad del tejado. En esta intervención se ha planteado consolidar las bóvedas, arcos fajones, contrafuertes y muros al menos en su parte superior. Colocar tirantes en los dos arcos fajones de la nave central de forma similar a los que hay en el arco junto a las puertas enfrentadas de entrada. Las actuaciones posteriores a la intervención en la cubierta incluyen la monitorización del edificio para controlar las deformaciones, con un seguimiento anual para obtener datos de la variación estacional. Estudio tridimensional del suelo con dos objetivos: Conocer los estratos para proceder a un estudio geotécnico y distribución de humedades. El geo-radar se ha de aplicar en varias fases temporales para correlacionar los datos de la monitorización de deformaciones con las variaciones del suelo.

Lista de referencias.

Alonso-Durá, Adolfo. 2002. *Bóvedas 3D*. Software de Análisis de Estática Gráfica en 3 dimensiones. Valencia.

Alonso-Durá, Adolfo. 2012. *Escuadra*. Software de procesado de nube de puntos. Valencia.

Alonso-Durá, A.; Martínez A.; Moreno J. y Llopis, V. 2012. *Analysis and Rehabilitation of San Miguel arcángel church in Jalance,* Greenlines institute. Valencia.

Alonso-Durá, A.; Martínez, A.: Llopis, V. y Moreno, J. 2013. *Construction and Structural Analysis of the Dome of the Cathedral of Valencia*. Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. FraMCoS. 698-704.

Andreu, A.; Gil, L. y Roca, P. 2006. *Limit Analysis of Masonry Constructions by 3D Funicular Modelling*. Structural Analysis of Historical Constructions. 1135-1142.

Boquera Martínez, A.; Alonso Durá, A.; Mazarredo Aznar, l. y Llopis Pulido, V. 2010. *Análisis Estructural de La Cúpula de La Iglesia de Todolella*. ARCHE. 4-5: 439-446.

Herman, J., et al. 1995. *Teoría, Historia y Restauración de Estructuras de Fábrica: Colección De Ensayos*. Madrid. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. CEHOPU. Instituto Juan de Herrera.

Heyman, J. 1999. *El Esqueleto de Piedra: Mecánica de la Arquitectura de Fábrica*. Instituto Juan de Herrera. CEDEX. CEHOPU. Madrid.

Huerta, S. 2004. *Arcos, Bóvedas y Cúpulas: Geometría y Equilibrio en el Cálculo Tradicional de Estructuras de Fábrica*. Madrid. Instituto Juan de Herrera.

Huerta, S. 2005. *Mecánica de las Bóvedas de Fábrica: el enfoque del equilibrio*. Informes de la Construcción. vol. 56, 73.

Lourenço, P. 1998. *Experimental and Numerical Issues in the Modelling of the Mechanical Behaviour of Masonry*. Structural Analysis of Historical Constructions. CIMNE, Barcelona. 57,

Ochsendorf J. A.; Hernando, J.I. y Huerta, S. 2004. *Collapse of Masonry Buttresses*. Journal of Architectural Engineering. vol. 10, 3: 88-97.

O'Dwyer, D. 1999. *Funicular Analysis of Masonry Vaults*. Computers and Structures. 73: 1-5.

Roca, P.; Cervera, M.; Gariup, G. y Pela, L. 2010. *Structural Analysis of Masonry Historical Constructions*. Classical and Advanced Approaches. Archives of Computational Methods in Engineering. vol. 17, 3: 299-325.

Trazados y ejecución de las bóvedas de la cabecera de la iglesia de Priego (Cuenca)

Miguel Ángel Alonso Rodríguez
Ana López Mozo
Enrique Rabasa Díaz

En el Archivo Diocesano de Cuenca se conserva un legajo que contiene la documentación relacionada con la demanda que presentó Pedro de Alviz para cobrar el montante correspondiente a las obras que ejecutó en la iglesia de San Nicolás de Bari en Priego (Cuenca), consistentes en la construcción de la cabecera, que se cubre con bóvedas de crucería (figura 1). Uno de sus cuadernos contiene la tasación que al efecto se realizó y dibujos relacionados. Éstos son la planta de la cabecera, con representación del crucero, el ábside trapecial y uno de los brazos del transepto, todos con detalle de la nervadura, las claves, la plementería, e incluso sombreados, así como unos esquemas que son identificables como elevaciones de los nervios (figura 2).[1] Rokiski (1980; véase también Rokiski 1985) publicó los dibujos y parte del texto, afirmando entonces que los dibujos debían interpretarse como un levantamiento necesario para la tasación efectuada por el maestro Francisco de Luna, aunque recientemente la misma autora los atribuye al propio Alviz (Rokiski 2017), observando que el dibujo de un tasador tendría menos detalle.

Este trabajo analizará la estructura de la planta y las elevaciones de los nervios en estos dibujos, y su relación con la forma y disposición de los elementos correspondientes en las bóvedas construidas en la cabecera, a partir de una toma de datos, tanto del documento como de las bóvedas existentes, realizada para esta comunicación mediante fotogrametría automatizada y estación láser.

El pleito

Pedro de Alviz firmó un contrato obligándose a construir la cabecera el 13 de noviembre de 1531. En mayo de 1541, una vez terminada la obra, Pedro de Loidi, nombrado por la iglesia, y Juan Zuri de Obieta, por parte de Pedro de Alviz, tasaron la obras ejecutadas; al no llegar a un acuerdo llamaron a un tercer tasador, el maestro Juan Flores. Tras estas valoraciones, el mayordomo de la iglesia se negó a pagar, y Pedro de Alviz inició un pleito en la Audiencia Episcopal de Cuenca. Ésta nombró a Francisco de Luna para que tasara de nuevo la obra, a la vista de trazas y condiciones (Rokiski 2017).

Francisco de Luna se traslada a Priego, cumple la misión y valora la obra en «un cuento ciento veintiocho mil setecientos cuarenta y cinco maravedís» (1.128.745 maravedis). En el preámbulo de la tasación relata que vio la bóveda y consultó dos trazas de la iglesia:

> … e vista la primera traça que esta en un pergamino fecho de pedro de albiz y firmado del señor don Luis Carrillo de Mendoza, e bisto la segunda traça questa firmada del obispo de Santangelo con que la dicha obra se yzo questa en un pliego de papel de la marca mayor (Rokiski 1980, 27).

El dibujo

Los dibujos conservados en el legajo no están firmados y tampoco aparece la firma del obispo Santange-



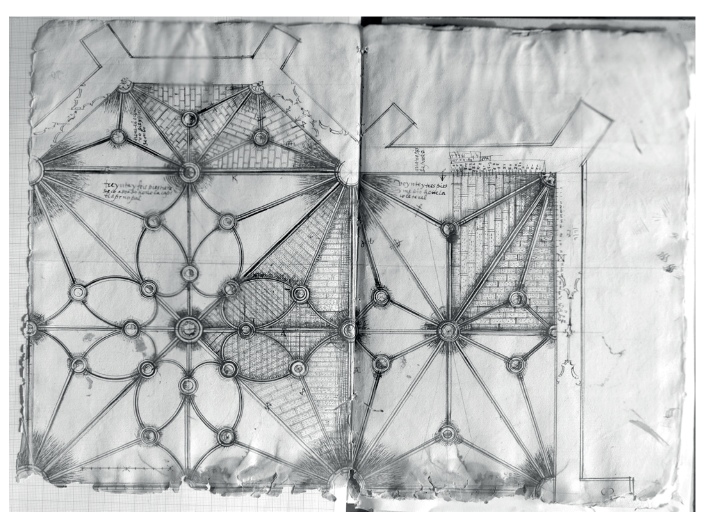
Figura 1
La cabecera de la iglesia de San Nicolás de Bari en Priego, Cuenca (fotografía de los autores, 2019)

lo como comitente, a la que se refiere Luna al comienzo de la tasación.

La planta de la cabecera está dibujada en una hoja doble y representa el crucero, el brazo derecho del transepto y la capilla mayor trapecial. Se puede interpretar que queda obviado el otro brazo del transepto por economía gráfica. Pero el dibujo se ajusta a los bordes izquierdo e inferior del papel, de manera que podría haber formado parte de un dibujo de mayor tamaño que ha sido recortado. En consecuencia, podría ser parte de una planta completa de la iglesia.

El dibujo de la planta es descriptivo y pormenorizado, y está realizado a tinta, aunque hay marcas de punta seca y trazos grises de lápiz. El esquema de la red de nervios es aparentemente semejante al construido, aunque en el tramo lateral del transepto aparece una alternativa a lápiz. Lo representado a tinta en este tramo lateral, que coincide con lo construido, es una bóveda en la que, de los cuatro cuadrantes en los que queda dividida por los ojivos, en los correspondientes al lado más largo hay una clave, y en los otros hay dos; la alternativa que aparece en el dibujo consiste en repetir en los cuatro cuadrantes esta última solución. Se trata, por tanto, de un tanteo descartado.

El dibujo tiene una escala gráfica de diez unidades. No está acotado numéricamente pero figura escrito que el crucero es un cuadrado de treinta y seis pies de lado, el brazo del transepto mide veintitrés pies y medio y la altura del trapecio de la cabecera es de diez pies. Sean o no sean originales estas anotaciones, si suponemos la escala gráfica equivalente a diez pies y medimos con ella estas longitudes, los resultados coinciden con las anotaciones escritas con bastante aproximación.



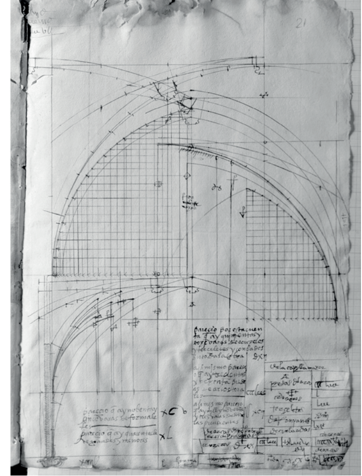


Figura 2
Los dibujos conservados con la tasación de las bóvedas (imagen digital a partir de los documentos del Archivo Diocesano de Cuenca)

El papel que contiene las plantas muestra una marca de agua, mientras que el que contiene las elevaciones, encuadernado a continuación, no la tiene y es independiente del anterior. En éste no se ve escala gráfica.

La comparación de medidas del dibujo con medidas de las bóvedas construidas conduce a estimar una escala aproximada de 1:50. Las proporciones del tramo lateral derecho dibujado del transepto coinciden con las ejecutadas, pero el izquierdo, que tiene también la anchura del crucero (10,10 m), es unos 30 cm más profundo.

La planta

En la planta figuran tres ventanas, una en el testero del transepto y otras dos, esviadas, en cada uno de los paramentos laterales del ábside. En la actualidad puede verse una ventana en cada testero y los paramentos interiores del ábside, donde estarían las ventanas dibujadas, están ocultos por el retablo del altar mayor, que fue instalado en 1991. Pero el ábside realmente no tiene ventanas, como puede comprobarse en fotos anteriores a esta fecha. En efecto, cuando dio a conocer la tasación y los dibujos de la cabecera de Priego, en 1980, Rokiski incluyó una colección de fotos del interior del ábside con un retablo de dimensiones reducidas que no ocultaba los muros laterales, sin ventanas. No obstante, contemplado el ábside desde el exterior vemos el hueco de una ventana abocinada en el paramento de la izquierda, abierto tan solo en la hoja exterior del muro y cerrado al interior. El paramento simétrico del ábside, en el exterior, no tiene ventana ni hay huellas de que la haya tenido en el pasado. Pudiera ocurrir que el hueco hubiera sido tapado para fortalecer la fábrica ante la aparición de algún desajuste, que quizá fuera el origen de la negativa del mayordomo a pagar las obras de la cabecera.

Pero además, los huecos del dibujo son ventanas con mainel y las jambas tienen molduras góticas, mientras que las ventanas del transepto y la exterior del ábside de la iglesia son de medio punto con molduras cilíndricas. Dado el cuidado que se ha puesto en la representación, estas diferencias no pueden ser atribuidas a una equivocación, una falta de atención ni al olvido.

Encontramos otras diferencias entre el dibujo y la iglesia. En las esquinas del crucero dibujado hay cuatro pilares redondos e iguales dos a dos, de mayor radio los del cuerpo de las naves y dibujados con acanaladuras; en la iglesia construida los cuatro pilares son iguales y cilíndricos.

Un zócalo que recorrería el paramento exterior y que aparece representado por dos líneas paralelas fue realizado solo en los contrafuertes.

Por tanto debemos pensar que el dibujo de la planta de la cabecera es anterior al arranque del edificio, que

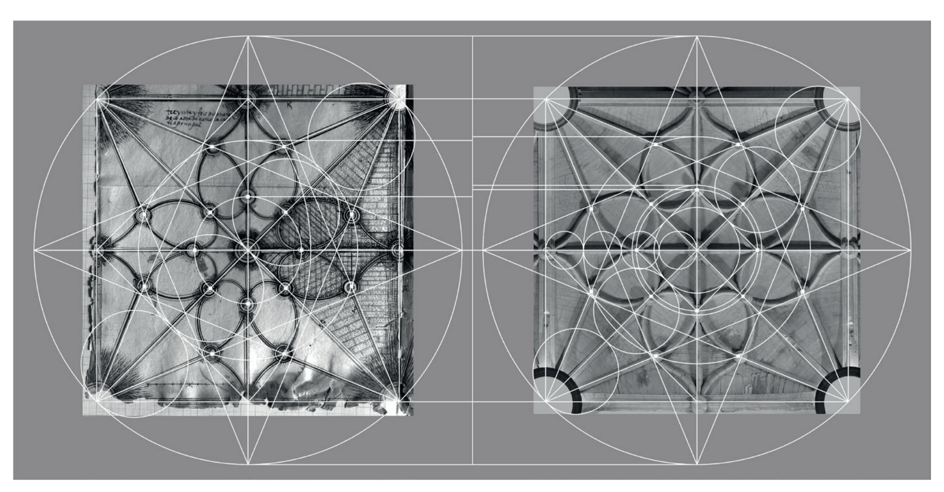


Figura 3
Trazados posibles sobre el dibujo y sobre la ortofoto de la bóveda del crucero (de los autores)

comenzó a construirse en 1531. Es, en definitiva, fragmento de unas trazas para la iglesia de Priego, quizá aquellas que consultó Francisco de Luna con la firma del obispo Santangelo, que estaría en la parte recortada.

Por otra parte, comparando la traza de los nervios en la planta dibujada con la proyección horizontal de la bóveda en la ortofoto realizada, se observan diferencias (figura 3). En ambos casos los terceletes están dirigidos con gran precisión al punto de intersección de la circunferencia circunscrita con el eje, es decir, según la bisectriz del ángulo que forman el ojivo y los arcos perimetrales o torales, como es común en muchas bóvedas de este tipo. Pero la situación de las claves no coincide.

Las claves, que serán ejecutadas en una sola pieza, acaban con una decoración en forma de tortera. Veremos que la superficie de revolución que hay sobre ella, alrededor del encuentro de los nervios, es vertical, mientras que la tortera decorativa que la remata está más o menos inclinada, siguiendo la pendiente de la bóveda en cada punto. En el dibujo todas son círculos con centro en el encuentro de los nervios, pero en la ortofoto, para determinar su posición, hay que corregir la situación aparente del centro de la tortera. En cualquier caso, las diferencias en la situación de las claves reales y las dibujadas son evidentes.

En efecto, las claves más alejadas del centro, que se encuentran sobre estos terceletes, no están en el mismo lugar en trazas y ortofoto. En el dibujo podrían haber sido situadas trazando un arco con centro en el punto medio del lado del cuadrado de la planta y tomando como radio la diagonal del cuadrante (figura 3 izquierda), mientras que en la construcción su situación es más alejada (figura 3 derecha), quizá en una circunferencia con radio 3/4 del semilado del cuadrado de la planta. Si observamos el conjunto de las claves que se encuentran más cerca del centro, la diferencia es aún más clara. Éstas forman casi sin duda un círculo en el dibujo –que podría tener como diámetro la cuarta parte de la diagonal–, mientras que en la bóveda construida las cuatro que pertenecen a los ojivos están más alejadas que las cuatro que están en los rampantes. En consecuencia se ha dado un cambio deliberado, decidido en un diseño posterior o quizá al reproducir la traza in situ.

Los nervios combados ejecutados no se corresponden exactamente con los dibujados. Por ejemplo, los llamados pies de gallo, saliendo de los puntos medios del cuadrado, presentan una inflexión en la bóveda construida, mientras que en la dibujada la curvatura es uniforme y trasladan el punto de inflexión a la clave en la que terminan, evitando un enlace complicado de arcos de compás. El resto de los combados presentaría probablemente dificultades particulares, tanto para su dibujo como para su ejecución en piedra. Es posible que el ajuste de estas piezas de piedra curvadas condicionara las decisiones en la ejecución real.

Es decir, podemos afirmar que el dibujo no refleja las últimas decisiones de diseño, ni en los detalles ornamentales ni en cuanto a la estrategia propuesta para la traza que sitúa los elementos que componen la bóveda. Sin embargo, la planta de Alviz pudo ser una representación suficiente para mostrar al comitente y acordar sobre ideas generales.

Las elevaciones

En la planta dibujada, que ofrece las nervaduras del crucero, del ábside trapecial y del brazo derecho del transepto, algunos nervios rectos de las bóvedas están acompañados de un símbolo situado encima o a un lado. Se corresponden con diversos tipos de nervio en planta, y no se aplican a los combados.

Encontramos estos mismos símbolos en la hoja de las elevaciones, donde figuran las líneas directrices de los nervios, agrupados por bóvedas. Son arcos de circunferencia, es decir, no hay arcos compuestos, y la cota del extremo superior de cada arco está indicada con un segmento vertical junto al que aparece el símbolo corresponde al arco en la planta. Estos segmentos representan la altura de la clave, a escala. El recorrido en horizontal de los perfiles, medido sobre la línea de imposta, coincide con la longitud de los arcos en la planta. Es decir, los perfiles de los arcos se trazaron con los datos de la planta y por tanto el plano de las elevaciones está a la misma escala que la planta, aunque no contenga también una escala gráfica.

Los arcos de cada una de las bóvedas están agrupados y forman tres esquemas que relacionan las alturas de unos y otros. En el papel que contiene las elevaciones se leen anotaciones que comienzan con la expresión «parecio por esta cuenta q[ue] ay…» para evaluar la longitud de cruceros, terceletes, rampantes, combados, formaletes, arcos torales, y el nú-

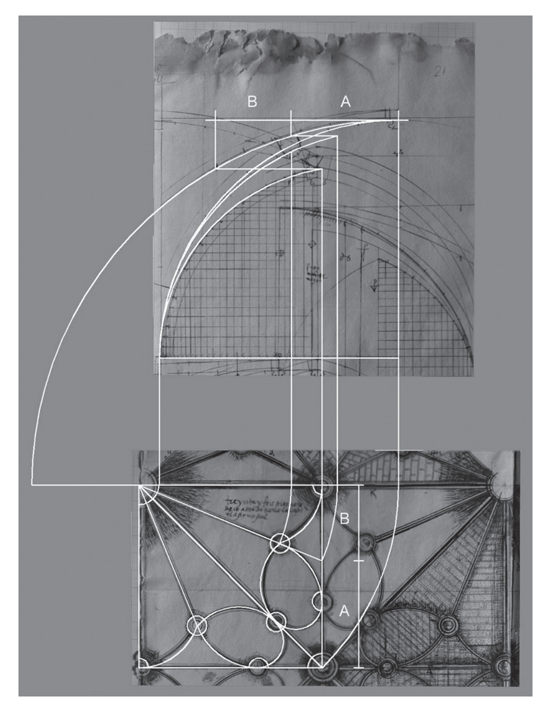


Figura 4
Traducción gráfica de la relación entre las representaciones de los nervios en planta y las elevaciones correspondientes, para la bóveda del crucero (de los autores)

mero de claves «mayores y menores», e incluso dovelas de plementería («prendientes»). Estas notas están agrupadas de manera irregular en cajas definidas por líneas a mano alzada, y limitadas por las líneas a regla del dibujo. No sería extraño que las notas hubieran sido añadidas a un esquema anterior de elevaciones.

Es posible, como veremos a continuación, descubrir los pasos seguidos para obtener las elevaciones en relación con la planta.

Arcos del crucero

La figura 4 traduce la relación entre los nervios que vamos a detallar.

Los arcos ojivos o diagonales, desde el arranque hasta la clave, están representados por un cuarto de circunferencia. Su radio es algo menor que la semidiagonal del cuadrado de la planta, porque se descuenta el pilar. La clave central aparece al final de ese nervio, pero también se repite en la parte izquierda del dibujo.

Aparece también la elevación de los arcos perimetrales o torales, con un entramado de rectas horizontales y verticales en su rama izquierda.

En una bóveda nervada es habitual que los ojivos sean arcos de medio punto, pero el resto deben ser trazados según cierto orden, relacionando sus alturas y siguiendo criterios que determinan la estructura general de la red.

Si solo hay terceletes y rampantes, puede ocurrir que estos últimos queden interrumpidos en el encuentro de los tres nervios. En el caso que nos ocupa, los rampantes se desarrollan de lado a lado, y los terceletes no llegan hasta ellos. Su elevación está dibujada dos veces, una enlazando la clave central dibujada a la izquierda con el vértice del arco perimetral, y otra bajando desde la clave central derecha según un arco de circunferencia.

En el primer caso, el que sale de la clave central de la izquierda, el canto es semejante al del ojivo. En el otro, el canto es algo menor, lo que se advierte al llegar a la clave de la derecha, a la que llega también el ojivo. Puede ocurrir que se tanteara la posibilidad de emplear o no el mismo canto para los ojivos y los rampantes. En la bóveda construida el ojivo tiene, efectivamente, un perfil algo mayor que el resto.

Sobre la línea curva del intradós del rampante de menor canto, que es más extensa de lo necesario, se ha marcado el punto hasta el que debe llegar con una pequeña raya vertical, trasladando su desarrollo en planta a una horizontal que pasa por la clave (la figura 5 muestra el detalle de este tipo de pequeños trazos).

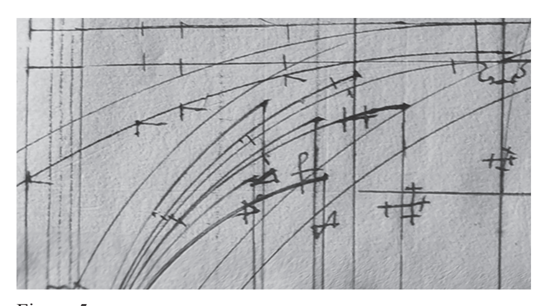


Figura 5
Trazos que muestran las operaciones de traslación de medidas en horizontal y vertical

Es difícil saber si, tras el ojivo semicircular, se estableció el trazado del rampante y a partir de él se fijó el trazado de los arcos de embocadura, o al contrario, se decidió la altura del arco de embocadura y se diseñó el rampante para llegar hasta ese punto. Pero el radio del nervio rampante dibujado, en sus dos representaciones, coincide con bastante precisión con el lado del cuadrado de la planta; esto apoyaría la idea de que se trazó antes.[2] En todo caso, los dos arcos están relacionados entre sí, y cabrían otras interpretaciones. En el dibujo, la altura del vértice del arco de embocadura es 4/5 del radio del ojivo, con bastante aproximación. En la bóveda realmente construida esta relación es distinta, pero también es una fracción precisa: 3/4, y el radio del rampante no coincide de igual manera con el lado de la planta. En consecuencia, cabe la posibilidad de que se estableciera primeramente el arco perimetral y después el rampante.

En este arco de embocadura hay varias curvas paralelas que debemos interpretar como tanteos para ajustar la luz real en relación con los radios de los pilares. En el intradós de este nervio, y en muchos otros, se han marcado puntos distanciados entre sí una magnitud igual a tres pies de la escala gráfica, es decir, una vara. Pero en este, además, hay otros puntos distanciados un pie, de los que proceden las rectas horizontales y verticales que llenan la parte izquierda del arco.

Estos arcos se repiten en los testeros de las bóvedas del transepto, como formeros empotrados en el muro. En consecuencia, es posible que la red de abscisas y ordenadas tenga como objeto el replanteo de estas curvas sobre un muro. Trazar una curva de gran diámetro desde su centro y con una cuerda no es difícil en horizontal, pero sí puede serlo en vertical, especialmente si se debe trazar sobre un muro que se va elevando conforme avanza la obra, de manera que no es extraño que se buscara definir este arco por coordenadas de sus puntos. Solo otro de los arcos de este dibujo presenta un entramado de coordenadas y es justamente también un formero.

El tercelete no llega hasta el rampante, pero está diseñado de manera que llegaría si continuara físicamente; una línea a lápiz y un símbolo lo expresan así en la planta, pero además la elevación responde a este criterio. La elevación del tercelete se determinó situando sus extremos. Su desarrollo horizontal se corresponde con el que presenta en planta, y en el lugar donde ha de llegar en horizontal se ve un trazo vertical a punta seca. La altura del punto teórico de llegada sobre el rampante está determinada midiendo su distancia horizontal hasta la clave central, sobre la recta horizontal que antes mencionábamos y bajando con un trazo a la elevación del rampante. Después se trasladaría horizontalmente esta altura hasta el trazo a punta seca. La curva del tercelete completo fue marcada en seco, y sobre ella se acotó el tramo a construir realmente, marcado a tinta, cuya extensión se determinaría con precisión llevando su desarrollo horizontal sobre la línea de im-

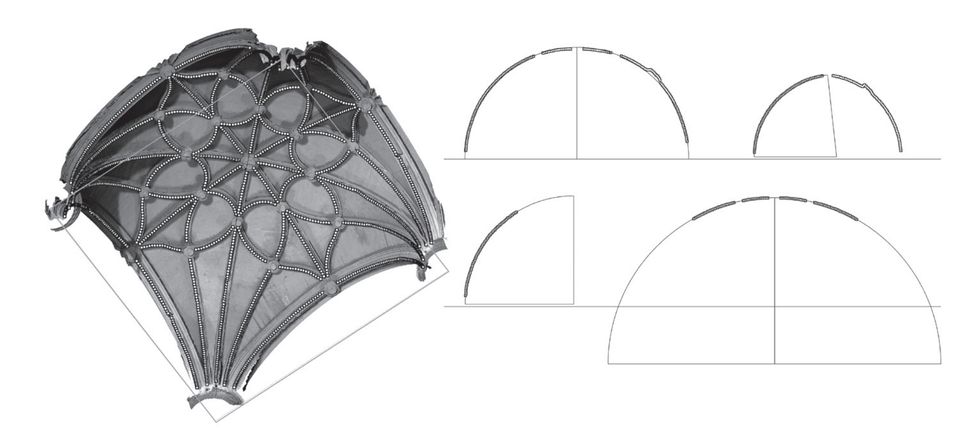


Figura 6
Puntos obtenidos del levantamiento de la bóveda del crucero (de los autores)

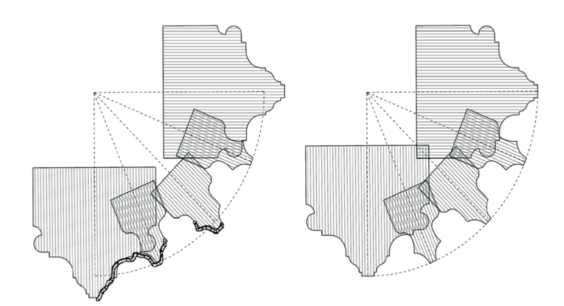


Figura 7
A la izquierda, sección horizontal del enjarje realizado al nivel de la imposta, obtenida a partir del levantamiento, con la situación las plantillas de los nervios. A la derecha, cómo resultaría esa sección de haberse dispuesto el intradós de los nervios sobre una circunferencia

posta y subiendo. En este punto se dibuja la clave que es extremo del tercelete, y que aparece con la tortera inclinada, pero con un trazo horizontal en su parte superior, que debemos identificar como lo que Robert Willis (1842) denominaba «superficie de operación». También la clave central presenta un trazo horizontal superior.

Las claves ejecutadas presentan, como decíamos, torteras inclinadas, pero sobre ellas es visible un cuerpo de revolución con una disposición vertical, como corresponde al diseño gótico más habitual y en coherencia con el sistema de control de la forma explicado por Willis.

Hay otro trazo curvo y otra clave, inclinada, sin símbolos que remitan a la planta. Podría representar al nervio combado que enlaza la clave del arco perimetral con la del tercelete. En efecto, tanto las alturas de los puntos inicial y final como su extensión en planta coinciden, siempre que entendamos esta última como la distancia recta entre los extremos. Por otra parte, a partir del levantamiento de la bóveda construida hemos podido apreciar que las curvas de intradós de los nervios combados son casi perfectamente planas.

El levantamiento realizado de la bóveda construida (figura 6) ha mostrado también que el arranque del ojivo se adelanta algo respecto del resto de los nervios y que el perpiaño se adelanta aún más notablemente. También hemos encontrado que el intradós de terceletes y perpiaños podrían ser curvas ligeramente peraltadas.

La sección del arco perpiaño que separa bóvedas es considerablemente mayor que la de los demás nervios, como es habitual en España. Gracias a que su arranque está adelantado (figura 7), sus molduras no interfieren de manera inconveniente con el resto de los nervios.

En la bóveda construida la curvatura del tercelete es muy similar a la del ojivo. En la traza dibujada las líneas correspondientes son también muy similares. Pero los rampantes dibujado y construido son diferentes, de manera que en la bóveda construida, con toda seguridad, una extensión hipotética de la directriz del tercelete no llegaría a encontrar a la línea directriz del rampante. Es decir, aquel diseño del tercelete que encontrábamos en el dibujo, determinado de manera que si continuara, encon-

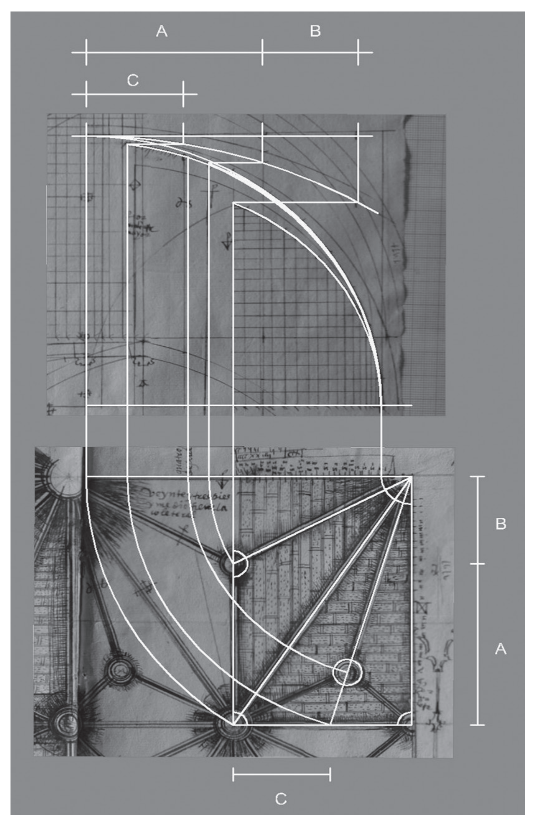


Figura 8
Traducción gráfica de la relación entre las representaciones de los nervios en planta y las elevaciones correspondientes, para las bóvedas laterales del transepto (de los autores)

traría al rampante, no fue seguido en la traza de la ejecución.

Arcos de la bóveda lateral

En ésta se sigue la misma estrategia que en la bóveda del crucero (figura 8). El ojivo es de medio punto. La elevación del rampante longitudinal, que en este caso se interrumpe en una clave, está trazada a partir de una curva más larga de lo necesario incluyendo la parte ideal del rampante que llegaría a los formeros.

Está representada la línea de intradós y de extradós de los nervios, como en el crucero, aunque para los arcos formeros se traza solamente el intradós. En el formero menor aparece de nuevo el entramado que define sus puntos por coordenadas. El formero mayor, el único rotulado con su nombre además del símbolo, no lo requiere, pues es aproximadamente igual al arco de embocadura del crucero.

El rampante longitudinal podría haber sido trazado con el mismo radio que el rampante de la bóveda anterior, la del crucero, es decir, el lado del cuadrado de la planta, juzgando la apariencia. Por otra parte, la altura del formero menor, con la que está relacionado, es aproximadamente 3/4 de la altura del ojivo, por lo que la duda sobre la prioridad de uno de los dos arcos permanece. El tercelete mayor queda definido por su encuentro ideal con el rampante, como en el caso del crucero.

El rampante menor es fácil de definir, pero no está trazado. Sí lo está el segundo tercelete; parece haberse definido también a partir del rampante longitudinal. En este caso el último tramo del tercelete, el que no existirá físicamente, aparece tachado con pequeños trazos.

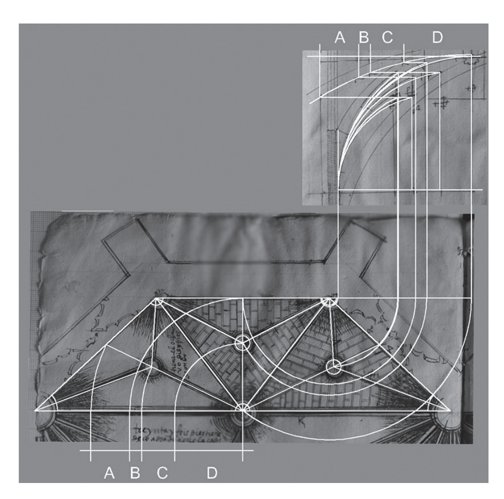


Figura 9
Traducción gráfica de la relación entre las representaciones de los nervios en planta y las elevaciones correspondientes, para la bóveda del ábside (de los autores)

Arcos del ábside

Las directrices de los nervios del ábside se encuentran en la parte inferior de la hoja y se muestra el arco de embocadura alineado en vertical con el del crucero, con representación de la tortera, de manera que debe de ser la versión definitiva de los tanteos. El método descrito se reproduce sin dudas aparentes para el ábside (figura 9).

Esta bóveda está dividida en tres sectores triangulares por arcos divisorios que se diseñan como cuadrantes de circunferencia. Acaban en la clave del arco de embocadura, y en su extremo se representa de nuevo la tortera. Del arco de embocadura, de estos divisorios y del espinazo (llamaremos así al que sale también de la clave de cada sector hacia la clave de la embocadura), se representa intradós y extradós. La circunferencia de este espinazo, que tiene el oficio del rampante de las anteriores, parece coincidir con la circunferencia circunscrita a la planta del crucero. En este caso no hemos encontrado una relación proporcional simple entre las cotas de los extremos, lo que apoyaría la hipótesis de prioridad del espinazo o rampante.

El resto son arcos peraltados, que arrancan al nivel del arco de embocadura y se curvan al nivel de los divisorios, y de ellos se representa solamente el intradós. El método para su trazado es igual que en casos anteriores. Hay que observar que el arco formero del muro del lateral del ábside no es simétrico, y el vértice entre sus dos ramas está situado en la prolongación del espinazo; además, los dos arranques de este formero lateral son diferentes, pues uno de ellos corresponde a las columnas torales. Eso da lugar a una distinta separación entre el arranque de la línea de intradós y el eje o punto de convergencia de los nervios en planta; esta separación ha sido cuidadosamente trasladada, como en las otras bóvedas, a las elevaciones.

Así pues, el vértice de este formero lateral no está en el punto medio de la luz. Su posición en planta está indicada no con un trazo, que sería suficiente, sino con una flecha, para resaltar su singularidad y que no haya confusión al medir el recorrido horizontal de cada uno. A ambos lados de la flecha se ven los signos asociados a las dos ramas de este formero lateral, que son diferentes. El levantamiento realizado refleja que el arco formero del lateral del ábside es efectivamente asimétrico.

Conclusiones

Al estudiar los dibujos de la cabecera de la iglesia de Priego que se conservan en el Archivo Diocesano de Cuenca, no hemos encontrado motivos para dudar de su atribución a Pedro de Alviz, ressable de las trazas y maestro de las obras de la cabecponera.

La delineación de elementos decorativos que no se encuentran en la construcción, o de una alternativa de trazado desechada, muestra que el dibujo de la planta no es una tasación, sino que es anterior al comienzo de las obras, que tuvo lugar en 1531. Las elevaciones de los arcos podrían ser posteriores, pues suponemos que no se necesitaban para comenzar una obra, ni las requería el comitente. Pero no pueden ser posteriores al cierre de las bóvedas, que fue antes del día de San Juan de 1541, fecha en la que se bendijo la cabecera.

El dibujo que nos ocupa no es una montea propiamente dicha, en cuanto solemos llamar así a un trazado a tamaño natural, pero reproduce los pasos necesarios para ese trazado. El diseño de los arcos del ábside es especialmente claro. Contiene las construcciones necesarias y suficientes y no hay pruebas ni tanteos. Por tanto es probablemente la última que se trazó, y confirma la estrategia empleada en las bóvedas del transepto, consistente en dar prioridad al rampante o espinazo, llevar los desarrollos en planta por la horizontal del arranque y las distancias al centro por la horizontal de la clave principal. Un mismo proceder metodológico ha sido seguido, en consecuencia, para el diseño de bóvedas de planta y apariencia muy diferente. En todos los casos el punto de arranque de la línea de intradós, línea que se revela esencial para la definición de la forma de la bóveda, se sitúa convenientemente separado de los vértices del trazado de la nervadura en planta, al descontar el radio del pilar.

El establecimiento de algunas curvas por puntos es muy notable y parece dirigido a su replanteo. No quiere decir esto que se tomaran medidas del dibujo; las líneas que contiene podrían haber sido trazadas solo para explicar el proceso de ejecución que debe seguir la montea a tamaño natural.

El levantamiento de las bóvedas de la iglesia realizado para esta comunicación nos ha permitido comprobar que la solución construida se separa de la dibujada. En la bóveda del crucero, la más convencional, a pesar de la semejanza aparente, son diferentes al menos la proporción de los perpiaños, la curvatura del rampante, la manera de establecer la cota de la clave del tercelete, la curvatura de los combados, la situación en planta de las claves.

La planta podría ser un dibujo destinado a establecer el contrato, después corregido por otra traza o bien tomado durante la ejecución como tanteo previo y modificable en la práctica de replanteos y monteas. Las elevaciones, superpuestas entre sí para adaptarse a un papel de menor dimensión, tampoco se siguieron puntualmente en la ejecución, pero no estarían tanto destinadas a la vista y la firma del comitente como a la reflexión sobre la aplicación del método o la explicación del proceso de construcción a partir de la planta, explicación quizá dirigida a los operarios o a quien hubiera de dirigir la obra en ausencia de Alviz. Finalmente, el mismo dibujo de las elevaciones, a pesar de sus diferencias con la obra construida, puede haber sido suficiente para que alguien más tarde anotara las mediciones necesarias para la tasación.

Notas

1 El tipo de la bóveda del crucero es, con variantes, muy común en España, y se pueden encontrar incluso bóvedas similares en México. Una planta semejante se encuentra dibujada en el manuscrito Ms 12686 conservado en la Biblioteca Nacional de España (García Baño 2017), atribuido a Pedro de Alviz o su entorno, aunque en aquel caso el rampante no llega hasta el perímetro.

2 En la traza para una bóveda de crucería del manuscrito de Hernán Ruiz, conservado en la Escuela de Arquitectura de Madrid, el radio del rampante es igual al diámetro del ojivo (Rabasa 1996).

Lista de referencias

García Baño, Ricardo. 2017. *El manuscrito de cantería Mss. 12686 de la Biblioteca Nacional de España*. Universidad Politécnica de Cartagena (tesis doctoral inédita).

Rabasa Díaz, Enrique. 1996. «Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI». En Casas Gómez, A., Huerta Fernández, S. y Rabasa Díaz, E., *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera.

Rokiski Lázaro, María Luz. 1980. «La cabecera de la iglesia de Priego (Cuenca), Dibujos y Tasación». *Cuenca* n 17, 27-34

Rokiski Lázaro, María Luz. 1985. *Arquitectura del siglo XVI en Cuenca*. 1ª ed. Cuenca: Diputación Provincial.

Rokiski Lázaro, María Luz. 2017. *Arquitectura del siglo XVI en Cuenca*. 2ª ed. Cuenca: Diputación Provincial.

Willis, Robert. 1842. «On the construction of the Vaults in the Middle Edges». En *Transactions of the RIBA*, vol 1, part 2. Reimpreso en Londres, RIBA, 1910.

Notas sobre el legado de Diego de Riaño en el contexto de la arquitectura hispánica del Renacimiento

Antonio Luis Ampliato Briones
Juan Clemente Rodríguez Estévez

En el seno de un trabajo más amplio sobre el maestro Diego de Riaño (c.1490-1534), cuya obra transita entre dos estilos sucesivos, Gótico y Renacimiento, se plantea un avance sobre su legado en lo relativo a este último. Su presencia en Sevilla, a partir de 1523, fue clave para la renovación del lenguaje tardogótico en la Baja Andalucía. Sin embargo, su progresiva adopción de un lenguaje renacentista, experimentado en obras tan relevantes como el Ayuntamiento de Sevilla o la Sacristía Mayor de la catedral hispalense, continuó proyectándose más allá de su muerte, con un amplio alcance geográfico. Dada la dificultad para fijar un catálogo definido de su obra y, como consecuencia, para dibujar la personalidad artística del maestro, su contribución a la arquitectura del Renacimiento hispano ha sido un asunto tradicionalmente postergado. El presente texto ofrece unos trazos generales que esperamos puedan contribuir a la redefinición de la herencia del maestro cántabro.[1]

Discípulos y colaboradores

Desde su vuelta a Sevilla en 1523, tras su paso por Portugal (Morales 1993), Diego de Riaño ejerció una profunda influencia en su entorno profesional más cercano. Los mecanismos de transmisión del conocimiento establecidos en el seno de los talleres de obra, y de las propias cuadrillas de canteros que se desplazaban por la geografía peninsular, favorecían la transferencia de la experiencia acumulada por los maestros a través de sus colaboradores más cercanos (Serra 2014, 339-351).

En el caso de Diego de Riaño, disponemos de escasísimos datos sobre los profesionales que pudieron firmar con él contrato de aprendizaje, con la excepción de las obras del Ayuntamiento de Sevilla, donde en marzo de 1534, recibió a siete aprendices de cantero (Morales 2011, 195). Todos ellos mantuvieron un periodo de aprendizaje de entre un año y medio y cuatro años. ocupándose inmediatamente de tallar piezas para la fachada y la sala del Apeadero (Morales 1991a, 61-82). Pese a las carencias documentales, cabe suponer que el magisterio de Riaño se habría proyectado con anterioridad de forma similar a lo largo de toda una década.

Más allá de estos casos, tendríamos que fijar la atención también en sus colaboradores más directos, necesarios para el desarrollo de un número de obras tan amplio como el documentado entre 1526 y 1534. Así, a su trabajo en Morón para los Téllez de Girón (Morón de Castro 1995, 71-81) sumó la maestría mayor de la Colegiata de Valladolid (Alonso 2004, 39-53), el Ayuntamiento de Sevilla (Morales 1981, 29-37). Además de todo ello, su cargo en la catedral conllevaba la dirección de todos los grandes proyectos del arzobispado hispalense, como Santa María de Arcos, San Miguel de Morón, Santa María de Carmona, la Asunción de Aracena o la prioral de Aroche (Morales 2011, 191-225), cuya dispersión hacía necesaria la delegación en otros profesionales.

En muchos casos en los que solo era posible la implicación del maestro con visitas esporádicas, se recurriría a la contratación de maestros residentes. El contrato de 1532 con Juan Pérez de Marquina, para la dirección de la obra de Santa María de Arcos de la Frontera (Sancho Corbacho 1931, 31-33) ilustra un modo de operar que debió ser el habitual en estos casos.[2] Esta delegación debía necesariamente apoyarse en un gran aparato gráfico, aunque muy probablemente también conllevaría importantes concesiones, quedando el resultado final de los trabajos marcado por la competencia y sintonía del responsable local de la dirección de obra.

Por otra parte, en las obras en las que el maestro cántabro ejercía un seguimiento directo resultó clave la figura del aparejador (Falcón Márquez 1981, 13-49). Como hombre de confianza, éste colaboraba en los trazados, en la adquisición de los materiales, dirigía el taller y asumía la dirección del proyecto durante las ausencias del maestro mayor.[3]

Con la desaparecida colegiata de Valladolid nos hallamos ante uno de sus proyectos más sensibles ya que, pese a la ambición de la empresa, Riaño sólo podía dirigirla durante estancias relativamente cortas por su lejanía. Las responsabilidades en la catedral no eran menores, y el cabildo presionaba, como cuando en 1532 firmó un nuevo contrato con el maestro por el cual se obligaba a residir en Sevilla durante ocho meses (Morales 1984, 31). En la ciudad castellana, Riaño confió la obra a su sobrino Juan de la Cabañuela quien, tras la muerte del maestro en 1534 demandó a sus familiares, a los que reclamaba una parte de su herencia (Alonso 2004, 39-45). El expediente evidencia que Cabañuela conservaba trazas de Riaño para el Ayuntamiento de Sevilla y la iglesia prioral de Aroche (Huelva). En 1535, Cabañuela aún conservaba el cargo de aparejador de la colegiata, e incluso terminó asumiendo la maestría mayor entre 1538 y 1541. La permanencia del aparejador en la dirección de la obra, una vez fallecido el maestro, garantizaba la continuidad del proyecto. A la sombra de su tío, este cantero cántabro alcanzó un crédito que, como señala Begoña Alonso, acabaría dilapidando posteriormente (2004, 46-51).

Algo similar volvería a darse en algunas de las grandes obras sevillanas. Es el caso de Juan Sánchez, aparejador de la obra del Ayuntamiento entre 1533 y 1534, que pasó a dirigirla hasta 1559-60 (Morales 1981, 39-42). También el de Martín de Gaínza, el más importante de los profesionales que trabajaron con Diego de Riaño (Rodríguez Estévez 2011, 254-287). La trayectoria de este cantero vasco transcurre siempre junto a Riaño, con quien debió mantener una estrecha relación personal como se deduce del hecho de que Gaínza, junto al cantero Juan Picardo,[4] en calidad de procuradores, se ocuparan de los asuntos económicos del maestro desde 1533 y que, tras su muerte, estuvieran presentes en la realización del inventario de sus bienes (Morales 2011, 195).

Martín de Gaínza, tras su paso por la obra del Ayuntamiento donde trabajaba como cantero en 1527, se incorporó a la de San Miguel de Morón a finales del año siguiente, pasando inmediatamente a ocupar el cargo de aparejador (Morón de Castro 1995, 71-99). Cuando Riaño se disponía a afrontar el gran complejo formado por la Sacristía de los Cálices, la Sacristía Mayor y las salas capitulares, Gaínza se traslada a la catedral con el mismo cargo (Morales 1984, 80-85). Inconclusas estas obras a la muerte de Riaño, la jerarquía de Gaínza en el taller, su profundo conocimiento del proyecto y la experiencia en la dirección de la obra, fueron determinantes para ser nombrado, en 1535, maestro mayor. Hasta su muerte en 1556, Gaínza se convirtió en el principal arquitecto de la ciudad y el arzobispado.

La larga sombra de Riaño a través de Martín de Gaínza

La trayectoria de Martín de Gaínza puede leerse en clave propia, pero la cercanía a Diego de Riaño, el papel desempeñado en la conclusión de la mayoría de sus obras o el planteamiento de algunos proyectos propios muy cercanos en el tiempo y en su concepción a los de su maestro, hicieron que Gaínza se convirtiera en una pieza clave para la consolidación y difusión de su legado arquitectónico.

En 1537, Gaínza cerraba la bóveda central de la Sacristía de los Cálices y en 1543 la gran cúpula de la Sacristía Mayor (Morales 2004, 41-45). Ambas obras dejaron una profunda huella en su trayectoria inmediata. Así, en 1538, reproducía el modelo de los Cálices en la bóveda de la Capilla Mayor de Santa María de Lebrija (Bellido 1985: 191), mientras que en ese mismo año se iniciaba la iglesia de Cazalla de la Sierra (Sevilla), probablemente bajo su dirección, con un orden clásico muy similar al de la Sacristía

Mayor, cubriéndose las naves con bóvedas baídas por cruceros. Durante el período comprendido entre 1535 y 1556, la catedral de Sevilla mantenía su condición de gran centro de producción arquitectónica en el que se formaron y desarrollaron su carrera, junto a Gaínza, canteros de muy diversa procedencia, proyectando después su experiencia sobre otros lugares.

Algunos mantuvieron su actividad en el arzobispado, como es el caso de dos aparejadores de la Catedral que pasaron a dirigir otras obras en el arzobispado bajo la tutela del maestro mayor. El primero de ellos, Juan de Calona, accedió al cargo de aparejador en 1535, al tiempo que Gaínza asumía la dirección del complejo de las sacristías. Considerado una «persona abil e suficiente», abandonó la obra en 1542 (Morales 1984, 86-87), lo que podría estar relacionado con la aparición ese año en la dirección de Santa María de Carmona de un maestro llamado Juan de Escalona, quien podría ser también el mismo cantero que en 1549 se documenta dirigiendo la iglesia de la Asunción de Aracena (Rodríguez Estévez y Ojeda Barrera 2017, 100). Ambos templos habían sido proyectados por Diego de Riaño. El segundo cantero, Miguel de Gaínza, sustituyó a Calona como aparejador de la Catedral en 1542 (Morales 1984, 88-89). Sin que sepamos si mantenía lazos familiares con el maestro mayor, Miguel de Gaínza se mantuvo en el cargo tras la muerte de aquel, pasando a trabajar junto a Hernán Ruiz II hasta su fallecimiento en 1565. En un informe de 1557 se presenta como maestro mayor de la iglesia de Cazalla de la Sierra (Morales 1991b, 191-192), hecho que subraya la estrecha relación de esta obra con el taller fundado por Diego de Riaño.

En otras ocasiones, tras un paso por el taller catedralicio, la labor de algunos destacados canteros se proyectó sobre lugares más lejanos. Es el caso de Pedro de Narea (Rodríguez Estévez 2014, 210-212), nacido en esa pequeña aldea viscaína, que ingresó muy joven en el taller sevillano, donde ya trabajaba su tío Martín de Narea, formándose junto a Martín de Gaínza. Cuando su tío fue llamado para dirigir la catedral de Las Palmas de Gran Canaria, sufragánea de la hispalense, marchó con él, convirtiéndose en su más estrecho colaborador y asumiendo la maestría mayor tras su muerte en 1562. A partir de 1570 levanta la Capilla de la Antigua, donde la huella de los planteamientos renacentistas de Riaño y Gaínza resulta evidente.

La proyección del Renacimiento Sevillano también alcanzó a las tierras del Nuevo Mundo, especialmente con la figura de Pedro de Aulestia, probablemente paisano de Pedro de Narea, presente, y altamente valorado, en las obras de la Capilla Real entre 1556 y 1558 (Morales 1979, 94). Tras su paso a Nueva España, aparece en 1568 como maestro mayor de la catedral de Mérida, en Yucatán (Marías 1994, 45-51), cuyas interesantes bóvedas baídas por cruceros marcan una importante cercanía con las experiencias sevillanas de Riaño y Gaínza, especialmente en Cazalla de la Sierra.

También la iglesia de Cazalla se ha relacionado con algunas obras erigidas en el País Vasco por maestros locales pero con experiencia previa en el Sur de la Península (Marías 1998, 28). En 1570, los hermanos Pedro y Martín de Armendia presentan dos proyectos para la iglesia de San Sebastián de Soreasu en Azpeitia (Guipúzcoa), una con bóvedas estrelladas y otra con bóvedas baídas por cruceros, siendo ésta la elegida (Gómez Martínez 1998, 118-121). Un cantero llamado Pedro de Armendia figura en las obras del Alcázar de Sevilla en 1542 (Marín 1990, 745), y en 1547 forma parte del taller catedralicio a las órdenes de Martín y Miguel de Gaínza (Rodríguez Estévez 1998, 416). Como señalábamos antes, éste último aparece documentado en Cazalla como maestro mayor pocos años después. De ser la misma persona, no podemos descartar en absoluto el valor de estas experiencias sevillanas en relación con la iglesia de Azpeitia.

Más allá de estos primeros apuntes sobre los protagonistas que contribuyeron a difundir la huella de Riaño, nos centramos a continuación en algunos de sus atributos fundamentales.

Bóvedas dominadas por la geometría del círculo

La Sacristía de los Cálices es un espacio tardogótico compuesto de tres módulos: uno central, de planta prácticamente cuadrada, y dos rectangulares de menor tamaño (figura 1a). Su bóveda principal se aproxima bastante al concepto de bóveda baída, con la geometría circular de sus cruceros y formeros, su volumen cercano al de una esfera e incluso su despiece de por hiladas redondas en su área cenital (Pinto 2013). Pese a las dudas suscitadas, la abundante documentación conservada y las últimas investigacio-



Figura 1
a) Sacristía de los Cálices de la Catedral de Sevilla; b) Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla (fotos de los autores)

nes sobre su proceso constructivo (Rodríguez y Ampliato 2019) ponen de manifiesto que Diego de Riaño concibe y levanta esta Sacristía de los Cálices de manera simultánea a la vecina Sacristía Mayor renacentista (figura 1b). La simultaneidad de estos dos espacios nos lleva a considerar que es la propia Sacristía Mayor la fuente de la que bebe la adaptación geométrica circular de la bóveda de los Cálices, hecho que posee un cierto carácter experimental. La bóveda de la Sacristía de los Cálices fue concluida por Martín de Gaínza en 1537. Solo un año después, en 1538, este maestro inicia la nueva cabecera de Santa María de la Oliva, en Lebrija (Bellido 1985: 191), cuya bóveda presenta una configuración prácticamente idéntica a la de los Cálices (figuras 1a y 3a).

Esta tendencia hacia un volumen esférico en bóvedas formalmente góticas, pudo constituir una cierta preocupación en Riaño. Uno de los conjuntos más interesantes en este sentido es el de la cripta mortuoria de los Condes de Ureña en la Colegiata de Osuna (Sevilla), situada en el subsuelo de la capilla mayor (figura 2a). Estas bóvedas de la cripta debieron ejecutarse a mediados de la década de los veinte, por los primeros enterramientos documentados. No se conserva documentación sobre la presencia de Riaño, aunque el maestro trabajaba para los Condes de Ureña, en Morón y Osuna, al menos desde 1526 (Morón de Castro 1995). En una de las bóvedas de la cripta, el esquema de crucería queda diluido para aislar formalmente un grupo de nervios radiales sobre los que aflora el volumen esférico del que se ha dotado a la plementería.

Esta incipiente evolución hacia la bóveda baída alcanzará nuevos hitos con la introducción de otro de los temas característicos de Riaño, los artesonados por cruceros, que tratamos a continuación.

Bóvedas baídas por cruceros

La retícula de cruceros introduce en los abovedamientos una referencia formal al modo romano que va más allá de lo puramente geométrico. En el XVI, a finales de la década de los veinte, Diego Siloe y Diego de Riaño serán los principales introductores de estas bóvedas. Independientemente de las fuentes concretas de las que ambos pudieran beber, el origen clásico del tema es evidente y basta con remitirnos a obras emblemáticas como Sant'Andrea de Alberti o la Basílica de San Pedro de Bramante. En España, el enrejillado de cruceros aparece en algunas de las primeras obras de Diego Siloe, en Santa María del Campo en Burgos o en San Jerónimo de Granada, ambas iniciadas en 1527-28. El maestro burgalés utiliza siempre como





Figura 2
a) Bóveda de la cripta de la Colegiata de Osuna; b) Espacio de las naves de la Colegiata de Osuna (fotos de los autores)

soporte geométrico bóvedas de volumetría perfectamente cilíndrica. Por el contrario, la introducción de este tema en Riaño va siempre asociada a bóvedas proto-baídas, una asociación que llegará a constituir casi un sello personal (Palacios y Bravo 2013: 82-83).

Las bóvedas enrejilladas de Riaño cubren siempre espacios integrados en conjuntos con ciertos condicionantes que exigen reducir su elevación. Así, las bóvedas se labran a partir de arcos formeros carpanel para obtener su característica forma rebajada, resul-





Figura 3
a) Capilla mayor de Santa María de la Oliva de Lebrija; b) Bóvedas de la sacristía de Santa María de Carmona (fotos de los autores)

tando una volumetría visualmente continua pero no esférica. Los artesonados se trazan mediante un movimiento de traslación de la nervadura en ambas direcciones, con la guía de los formeros, manteniendo siempre la verticalidad del plano que contiene al nervio. Ejemplos de estas bóvedas los encontramos en Sevilla en el claustro de San Jerónimo, el patio de los Óleos o el cabildo bajo del ayuntamiento. En otros lugares del arzobispado aparecen habitualmente en sacristías, como la de la parroquial de Aroche o en Santa María de Carmona (figura 3b).

La prematura muerte de Riaño y las importantes carencias documentales sobre sus obras nos impiden valorar con claridad la posibilidad de que el maestro pudiera haber afrontado, en algún momento, la utilización de estas bóvedas en las naves de los templos, adoptando una geometría perfectamente esférica. Pero el hecho que este paso se da en algunas obras ligadas al maestro, algunas con procesos constructivos por esclarecer. Es el caso de la iglesia de la Asunción de Aracena (figura 4a), iniciada por Riaño en 1528 y con un lento desarrollo constructivo (Carrasco 2008). Pero en este sentido destaca sin duda el proyecto para la iglesia parroquial de Cazalla de la Sierra, atribuible a Martín de Gaínza (figura 4b). Iniciada en 1538, según informa una lápida junto a la entrada, en su abovedamiento destacan especialmente dos baídas por cruceros encabezando cada una de las naves laterales. También a Martín de Gaínza se debe la bóveda del cuarto tramo de San Miguel de Morón (Morón de Castro 1995), que sin embargo presenta aún una geometría rebajada.

Lejos de Sevilla, pero relacionadas gracias a los desplazamientos de determinados maestros, esta solución de naves cubiertas por baídas por cruceros se generaliza. Ya mencionamos anteriormente, en este sentido, la Catedral de Mérida, en México (figura 5a), de Pedro de Aulestia, o la iglesia de San Sebastián de Soreasu en Azpeitia (figura 5b), en la que interviene Pedro de Armendia. En el ámbito andaluz, la consolidación del modelo de baídas por cruceros se confirmará con los maestros de la generación posterior a Gaínza, con ejemplos como Santa María de Huéscar, atribuible a Andrés de Vandelvira (Henares 1981: 538ss), o algunos dibujos de Hernán Ruiz II para la iglesia del Hospital de la Sangre de Sevilla (Ampliato, 2002: 224).

Tipologías espaciales

Muchas de las iglesias mencionadas hasta ahora presentan características comunes: soportes columnarios, un espacio hipóstilo de tres naves, testero plano y breve ábside semi-hexagonal, que definen una tipología perfectamente reconocible. El salón columna-





Figura 4
a) Iglesia de la Asunción de Aracena; b) Iglesia parroquial de Cazalla de la Sierra (fotos de los autores)



Figura 5
a) Catedral de Mérida, México; b) Iglesia de San Sebastián de Soreasu, en Azpeitia (fotos de los autores)

rio, con múltiples variantes, constituye una tendencia generalizada en la península en esos momentos (Rückert 2009), pero para sus primeras manifestaciones a lo romano hay que acudir a los entornos sevillano y granadino.

La tendencia al soporte columnario está presente en la obra gótica de Riaño, como en la iglesia de Santa María de Arcos de la Frontera. En estos soportes se multiplican e igualan los nervios verticales configurando un volumen cilíndrico. La operación va asociada a la concepción de un espacio salón compuesto por bóvedas de cruceros y combados (Ampliato y Rodríguez, 2017).

Estas mismas características generales aparecerán también en las obras de Riaño que experimentan con un incipiente lenguaje clásico, como la Asunción de Aracena, cuya valoración no obstante queda dificultada por su limitado avance en vida del maestro (figura 4a). En la Colegiata de Osuna (figura 2b), también más que probable obra de Riaño (su portada está fechada en 1533), estaríamos ante una propuesta clara y coherente en la misma dirección, al menos por lo que respecta a las naves. Tras Riaño, la rotunda formalización clásica del soporte y la sistematización de las bóvedas en la iglesia de Cazalla de la Sierra, iniciada por Gaínza en 1538, adquieren el valor de una importante confirmación del modelo (figura 4b).

El paralelismo entre las figuras de Riaño y Siloe, aún por esclarecer, aparece con algunas obras granadinas de la década de los cuarenta, como Nuestra Señora de Los Remedios de Iznalloz o Santa María la Mayor de Huéscar, que presentan una tipología muy cercana, aunque una articulación gramatical de soportes, muros y bóvedas diferente, más trabada y homogénea.

Otro recurso tipológico ligado a Diego de Riaño, con continuidad posterior, es el de la planta central de la Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla, que aparece como alternativa al modelo tradicional de espacio longitudinal modulado (Morales 2004, 265-280). Martín de Gaínza adapta el modelo de Riaño, con importantes variaciones y para un espacio mucho más reducido, en la Sacristía de Santa María de Arcos de la Frontera. En Santa María de la Oliva de Lebrija, ya en las últimas décadas del XVI, se levanta también una sacristía que sigue claramente el modelo sevillano, probablemente a partir de unas trazas de Hernán Ruiz II.

Embocadura abocinada

Uno de los aspectos más relevantes de la Sacristía Mayor de Riaño es la solución de las bóvedas latera-



Figura 6
a) Nave lateral de Santa María de Arcos de la Frontera; b) Cabecera de la Sacristía de los Cálices; c) Sala de los Fieles Ejecutores del Ayuntamiento de Sevilla (fotos de los autores)

les de su planta en cruz, con una característica forma abocinada (figura 1b). Como en casos anteriores, este gesto, de cierta complejidad, admite ser abstraído de su formalización clásica para constatar su carácter recurrente en la obra de Riaño, como estrechamiento forzado de los abovedamiento laterales en espacios rectangulares. Esta imposición implica al menos dos adaptaciones, ambas presentes en la Sacristía Mayor. La primera es la traslación hacia el centro de los testeros de los teóricos soportes de esquina que recibirían los arcos formeros. La segunda es la introducción de trompas en las esquinas como solución de continuidad entre el abovedamiento achaflanado y planta rectangular.

El primer lugar (no necesariamente en orden cronológico) en el que podemos encontrar con Riaño una operación análoga, pero con lenguaje gótico, es en las bóvedas de las naves laterales de la iglesia de Arcos de la Frontera, en cuyas naves laterales se multiplican los soportes amensulados provocando en el abovedamiento un resultado similar (figura 6a). El segundo lugar sería la Sacristía de los Cálices, también con lenguaje gótico, en la que esta operación se plasma de manera prácticamente idéntica a la contigua y renacentista Sacristía Mayor (figura 6b). Finalmente, con una posición muy significativa en esta serie, situaríamos la pequeña Sala de los Fieles Ejecutores del Ayuntamiento de Sevilla, donde la bóveda recurre ya a un artesonado por cruceros y el conjunto asume claramente un lenguaje clásico (figura 6c).

Por otra parte, el abocinado de las bóvedas laterales de la Sacristía Mayor nos evoca una cierto efecto de profundidad fingida. Independientemente de la posible fuente de la que pueda haber bebido Riaño, entre las que no descartamos a un cabildo con una importante preocupación humanística, es especialmente relevante el hecho de este enfoque espacial aparezca literalmente en una cierta diversidad de obras del maestro.

El efecto pseudo-perspectivo podría en parte ser el reflejo de ciertos aspectos comunes en grabados y dibujos del momento, como es el caso del pequeño tratado de lo romano publicado por Diego Sagredo en 1526. En una de sus portadas aparece un abocinado similar, en este caso claramente pseudo-perspectivo (figura 7a). En el ámbito de la misma Sacristía Mayor, existe otro profundo y dramático abocinado en el profundo hueco con el que Riaño resuelve el acceso desde la catedral (figura 7b). Su retícula de casetones, rigurosamente dispuesta, contiene una excepcional colección de bajorrelieves de extraordinaria calidad, en los que se representa una gran cantidad de platos de comida que configuran un gran banquete simbólico. Volveremos sobre ello de inmediato.

De nuevo Riaño vuelve sobre el tema del abocinado, discreto pero decidido, en la portada principal de la Colegiata de Osuna, fechada en 1533 (figura 7c), cuya composición, por otra parte, incluye todos los elementos básicos del dibujo de Sagredo. Una vez más, será Martín de Gaínza quien recogerá estas experiencias en la portada de Santa María de Utrera (figura 8a), que quizá también pudieron ser la inspiración de algunas de sus capillas mayores, como la de Santa María de Arcos.

Un ejemplo lejano del tema lo encontramos al otro lado del Atlántico, en la portada de la iglesia del convento de Actopan en Hidalgo, México (figura 8b). No es posible establecer una vinculación personal y directa de esta obra de mediados del XVI con maes-

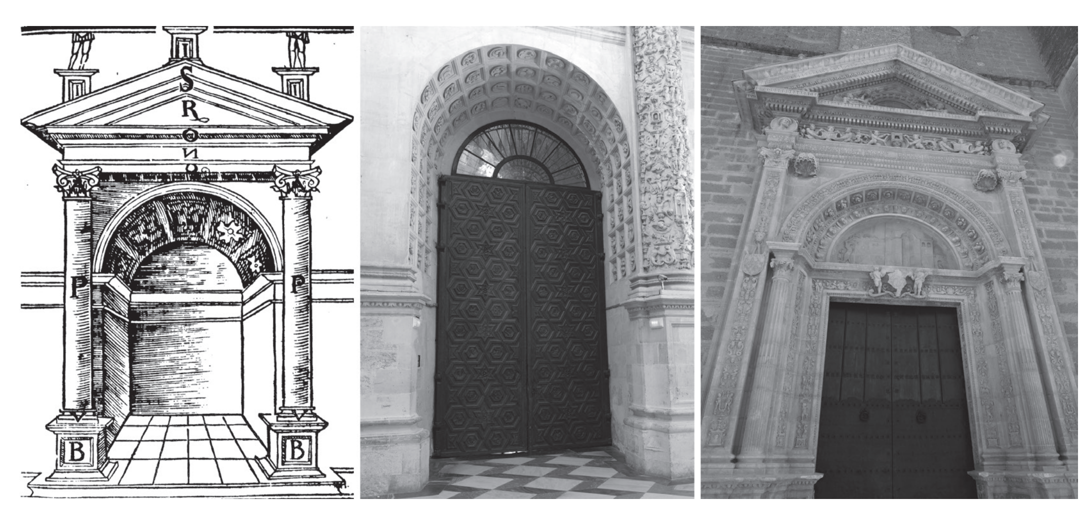


Figura 7
a) Lámina de las Medidas del romano, de Diego de Sagredo; b) Acceso a la Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla; c) Portada principal de la Colegiata de Osuna (fotos de los autores)

tros que trabajaran con Riaño o Gaínza en el entorno sevillano. Sin embargo hay en Actopan un elemento inconfundible que lo relaciona necesariamente con la sacristía sevillana: la exuberante decoración de los casetones del abocinado (y otras partes de la portada) con una gran variedad de platos de comida cuidadosamente tallados, como los que acabamos de ver en el arco de acceso a la Sacristía Mayor.



Figura 8
a) Portada de la iglesia de Santa María de Utrera; b) Portada del convento de Actopan en Hidalgo, México (fotos de los autores)

Orden clásico

La máxima expresión de la utilización del orden clásico por parte de Diego de Riaño la constituyen los soportes compuestos de la Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla (figuras 1a y 9a). Esta formalización, cuya rotundidad debió verse reforzada por el ambiente humanístico de una parte importante del cabildo, es el resultado de una tendencia con numerosos antecedentes en su obra. Aparte los experimentos con la utilización del orden clásico en fachadas, como el Ayuntamiento de Sevilla o la portada de la Colegiata de Osuna, la utilización de órdenes de inspiración clásica aparecen en el interior en dos iglesias que ya hemos visitado, la Asunción de Aracena (figura 4a) y la Colegiata de Osuna (figura 2b), ambas con problemas para la delimitación de la posible intervención del maestro. En ambos casos nos encontramos con experimentos en los que las proporciones y relaciones no llegan todavía a la claridad de la propuesta para la sacristía.

La influencia de la Sacristía Mayor es evidente en los monumentales soportes de la iglesia de Cazalla de la Sierra (figuras 4b y 9b). La aplicación de cabezas de león sobre la cornisa de remate, la proporción de los dentículos, la articulación decorada de las platabandas del arquitrabe, la formalización de la pilastra nuclear como una única pieza prismática, la aplicación a los fustes de una cierta variedad de estriados, incluyendo los helicoidales, etc., son todos aspectos tan directamente relacionados con la sacristía que podríamos sentirnos tentados de afirmar que pudieron haber salido de la misma mano.

Es claro, por otra parte, que este soporte compuesto nos remite también a los que Diego Siloe diseñara para la catedral de Granada. Más allá del nulo fundamento que tiene la atribución de la totalidad de la Sacristía Mayor al maestro burgalés, la posible influencia de Siloe sobre el entorno sevillano de manera previa a su viaje a Sevilla de 1535 es algo aún pendiente de estudio y que, en términos generales, no podemos descartar. Una última versión de la utilización de un orden clásico cercano es el de Pedro de Narea en la Capilla de la Antigua de la Catedral de Las Palmas (figura 9c), muchas de cuyas características no hacen sino confirmar el conocimiento de la obra de Riaño.

Para concluir, estas notas deben entenderse como un apunte que quiere aproximarse a una realidad de la que todavía queda mucho por esclarecer, cuyos rasgos estructurales sin duda pueden ser compartidos por otros maestros de la época y cuya entendimiento se ve dificultado por la prematura muerte de Riaño, un hecho que impidió que su trayectoria pudiera llegar a cristalizar con mayor nitidez.



Figura 9
a) Soportes de la Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla; b) Soportes de la parroquial de Cazalla de la Sierra; c) Soportes de la capilla de la Antigua, Catedral de Las Palmas (fotos de los autores)

Notas

1. Proyecto I+D «Diego de Riaño, Diego de Siloe y la transición del Gótico al Renacimiento en España» (HAR 2016-76371-P), Gobierno de España, IPs: J. C. Rodríguez Estévez y A. L. Ampliato Briones.
2. Podría tratarse del personaje homónimo que aparece como asentador en la catedral de Granada en 1529 (Gómez Moreno [1941] 1983, 89-90). No debe confundirse con el cantero Juan de Marquina, que llegó a Granada con Enrique Egas y fue aparejador en el Palacio de Carlos V (Rubio Lapaz 2011, 71-93).
3. Según las competencias registradas en las ordenanzas del taller de cantería de la catedral de Sevilla, redactadas entre 1546 y 1549 (Rodríguez Estévez 1998, 253-258/396-403).
4. Juan Picardo aparece en el Ayuntamiento de Sevilla en 1527 y en la catedral en 1534, 1547 y 1549, a las órdenes de Gaínza (Rodríguez Estévez 1998, 424).

Lista de referencias

Alonso Ruiz, Begoña. 2004. Diego de Riaño y los maestros de la Colegiata de Valladolid. *De Arte,* 3: 39-53.

Ampliato Briones, Antonio Luis, 2002. *El proyecto renacentista en el tratado de arquitectura de Hernán Ruiz.* Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción / Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Ampliato Briones, Antonio Luis y Juan Clemente Rodríguez Estévez. 2019. Sobre la discutida identidad arquitectónica de Diego de Riaño en la transición del gótico al Renacimiento en España. En *Actas del III Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la construcción. Vol. 1*, 49-61. Madrid: Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad Politécnica de Madrid/Instituto Juan de Herrera.

Barrio Loza, J.A. y J.G. Moya Valgañón. 1981. Los canteros vizcainos (1500-1800): Diccionario biográfico. *KOBIE,* 11: 173-282.

Bellido Ahumada, José. 1985. *La patria de Nebrija (noticia histórica).* 3ª ed. aumentada. Sevilla: Gráfica Los Palacios.

Carrasco Terriza, Manuel Jesús, 2008. La iglesia de la Asunción de Aracena: de Diego Antonio Díaz a Hilario Vázquez. *Boletín Oficial del Obispado de Huelva*, 394: 351-352.

Falcón Márquez, Teodoro. 1981. *El aparejador en la historia de la arquitectura.* Sevilla: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.

Gómez Martínez, Javier. 1998. *El gótico español de la Edad Moderna. Bóvedas de crucería.* Valladolid: Universidad de Valladolid.

Henares Cuéllar, Ignacio, 1981. Arte. En *Granada*, 519-602. Granada: Excma. Diputación Provincial de Granada.

Marías, Fernando. 1994. Reflexiones sobre las catedrales de España y Nueva España. *Ars Longa: cuadernos de arte,* 5: 45-51.

Marías, Fernando. 1998. El Renacimiento a la castellana en el País Vasco: concesiones locales y resistencias a lo antiguo. *BIBLID,* 17: 17-31.

Marín Fidalgo, Ana. 1990. *El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias.* Sevilla: FOCUS.

Morales, Alfredo J. 1979. *La Capilla Real de Sevilla.* Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla.

Morales, Alfredo J. 1981. *La obra renacentista del Ayuntamiento de Sevilla.* Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla.

Morales, Alfredo J. 1984. *La Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla*. Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla.

Morales, Alfredo J. 1991a. El Ayuntamiento de Sevilla: maestros canteros, entalladores e imagineros. *Laboratorio de Arte,* 4: 61-82.

Morales, Alfredo J. 1991b. Sobre la Capilla Real de Sevilla y algunos de sus creadores. *Archivo Hispalense,* 227: 185-194.

Morales, Alfredo J. 1993. Diego de Riaño en Lisboa. *Archivo Español de Arte,* 264: 404-407.

Morales, Alfredo J. 2004. Sacristías del Renacimiento en Andalucía. En *Arquitectura religiosa del siglo XVI en España y Ultramar*, 265-280. Zaragoza: Diputación de Zaragoza.

Morales, Alfredo J. 2011. Diego de Riaño. En *El ciclo humanista. Arquitectos II* (Proyecto Andalucía. Artistas andaluces y artífices del arte andaluz, Tomo XXXVI), 191-225. Sevilla: Publicaciones Comunitarias.

Morón de Castro, María Fernanda. 1995. *La Iglesia de San Miguel. Cinco siglos en la historia de Morón de la Frontera XIV-XVIII.* Sevilla: Universidad de Sevilla / Fundación Fernando Villalón.

Palacios Gonzalo, José Carlos, y Sandra Cynthia Bravo Guerrero. 2013. Diseño y construcción de las bóvedas por cruceros en España durante el siglo XVI. *Informes de la Construcción*, 65(Extra-2): 81-94.

Pinto Puerto, Francisco, 2013. La Sacristía de los Cálices. Aportaciones desde el análisis de sus fábricas y los sistemas de control formal. En *La Catedral entre 1434 y 1517: historia y conservación*, 163-235. Sevilla: Taller Dereceo.

Rodríguez Estévez, Juan Clemente. 1998. *Los canteros de la Catedral de Sevilla. Del gótico al Renacimiento.* Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla.

Rodríguez Estévez, Juan Clemente. 2014. Maestros del tardogótico castellano en las Islas Canarias. En *Arquitectura tardogótica en la Corona de Castilla: Trayectorias e intercambios*, 201-213. Santander: Universidades de Cantabria y Sevilla.

Rodríguez Estévez, Juan Clemente. 2011. Martín de Gaínza. En *El ciclo humanista. Arquitectos I* (Proyecto Andalucía. Artistas andaluces y artífices del arte andaluz, Tomo XXXV), 254-287. Sevilla: Publicaciones Comunitarias.

Rodríguez Estévez, Juan Clemente, y Antonio Luis Ampliato Briones. 2019. Diego de Riaño y la Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla: nuevas consideraciones sobre su autoría. *Laboratorio de Arte*, 31 (en prensa).

Rodríguez Estévez, Juan Clemente y Alfonso Ojeda Barrera. 2017. La historia de Santa María a través de los documentos. En *La obra gótica de Santa María de Carmona. Arquitectura y ciudad en la transición a la Edad Moderna,* 69-119. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Rubio Lapaz, Jesús. 2011. Juan de Marquina. En *El ciclo humanista. Arquitectos II* (Proyecto Andalucía. Artistas andaluces y artífices del arte andaluz, Tomo XXXVI), 71-93. Sevilla: Publicaciones Comunitarias.

Rückert, Claudia, 2009. Georg Weise y la *Hallenkirche* española. *Anales de Historia del Arte,* Volumen Extraordinario: 339-346.

Sancho Corbacho, Heliodoro. 1931. *Arte sevillano de los siglos XVI y XVII,* Documentos para la historia del Arte en Andalucía III. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Serra Desfilis, Amadeo. 2016: La logia abierta: transferencia y movilidad en la arquitectura tardogótica hispánica. En *1514. Arquitectos tardogóticos en la encrucijada,* 339-351. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Ensayos en modelos de estructuras laminares. Los primeros resultados de Eduardo Torroja en el Laboratorio Central

Joaquín Antuña Bernardo

En 1939, finalizada la guerra en España, Eduardo Torroja comenzó a impartir clases en la Escuela Especial de Caminos Canales y Puertos y en 1941 fue nombrado director del Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción (LCEMC). El Laboratorio se había creado en 1898 dependiendo de la Escuela y en un primer momento tenía por objetivo el ensayo de materiales de construcción, principalmente interesados en estudiar su resistencia. En el reglamento publicado en 1899 se detallaba que estaba al servicio tanto de la propia administración como de empresas y particulares. Además, se precisaba que en el Laboratorio se realizarían investigaciones acerca de las propiedades mecánicas, físicas y químicas de los materiales con objetivo científico y práctico. Posteriormente, en 1926, se reguló el funcionamiento autónomo de la Escuela y se ampliaron las actividades asignadas al laboratorio que se extendían a la colaboración en la formación.[1]

Después de hacerse cargo de la dirección, en un informe redactado en mayo de 1941, Torroja propuso una nueva organización en la que se creaban varias secciones. Una de ellas era el laboratorio de Modelos Reducidos. Para poder realizar las tareas propuestas, se proyectó un edificio adjunto a la antigua Escuela, en el que situar las diferentes divisiones en que se organizaba el laboratorio. El edificio estaba terminado y se inauguró en 1943.[2]

Además de contar con el espacio adecuado para llevar a cabo las actividades previstas, necesitaba contar con un equipo de especialistas en diversos campos, así como con una financiación asegurada. En el caso concreto de los ensayos en modelos, además de contar con técnicos capaces de evaluar los resultados, era necesario disponer de especialistas para construir los propios modelos, así como para realizar su instrumentación, puesta en carga y toma de datos. Por otra parte, al tratarse de una técnica nueva de la que en España apenas existían antecedentes, una de las tareas necesarias era la de definir los procedimientos de construcción, instrumentación y ensayo. Además, en muchos casos era necesario construir los propios medios de puesta en carga y los instrumentos de medida.

Experiencia previa

En su experiencia profesional anterior, Eduardo Torroja había realizado tanto ensayos en las propias obras terminadas o en proceso de construcción, como en modelos reducidos. Durante la construcción se hicieron ensayos en el acueducto de Tempul, y para la obra del hipódromo de la Zarzuela se construyó un tramo de cubierta a tamaño real para su ensayo hasta rotura. Los lucernarios de los quirófanos del Hospital Clínico de la Ciudad Universitaria de Madrid, la cúpula del mercado de Algeciras en 1933 y la cubierta del frontón Recoletos en 1935 se estudiaron en modelo reducido. Para los primeros se construyó un modelo que no representaba fielmente las dimensiones del prototipo, pero que

respetaba la relación de rigideces de las piezas del mismo. En los otros dos casos, se construyeron modelos a escala con microhormigón en los que se reprodujeron tanto las propiedades de los materiales como sus dimensiones y la disposición de las armaduras.[3]

En estas primeras experiencias realizando ensayos en modelos se pusieron de manifiesto dos de las principales dificultades del proceso: la puesta en carga y la lectura de los movimientos. En el caso de la cúpula del mercado de Algeciras, la carga se aplicó mediante pesos colocados sobre la lámina y, durante el ensayo, el modelo colapsó. Un fallo en el tirante provocó su rotura y el colapso instantáneo, que ocurrió en un momento en que no había nadie trabajando bajo la cúpula por lo que no se produjeron daños personales. Para la puesta en carga del modelo de la cubierta del frontón, se ideó un sistema complejo que representaba la acción uniformemente distribuida mediante la aplicación de cargas puntuales suficientemente próximas. Para ello, una serie de hilos anclados a la cubierta y de los que se colgaba un contrapeso a través de unos balancines, permitían aplicar las cargas de modo instantáneo. El sistema estaba diseñado de modo que si alguno de los cables se rompía, se producía de modo automático la descarga de la cubierta. Con ello se evitaba que se produjesen cargas aisladas que no representaban la situación real de la obra y que podían producir la rotura del modelo.

Por otra parte, al menos en el caso del modelo del frontón, tanto la construcción del modelo como la fabricación de los aparatos de precisión para la medida de los movimientos corrió a cargo de la empresa Investigaciones de Construcción (ICON). Se trataba de una empresa promovida por el propio Torroja y que durante años se encargó de fabricar en España aparatos de precisión empleados en la instrumentación de ensayos.

La sección de Modelos Reducidos

Este laboratorio era una novedad en España de la que no había precedentes, por lo que la tarea principal en los primeros años tuvo un doble objetivo, formar a los técnicos y operarios, y poner a punto los procedimientos de ensayo necesarios. Para lo primero se contó con Leonardo Villena, que se especializó en fotoelasticidad, aunque abandonó en Laboratorio antes de 1948, y Carlos Benito, que se convirtió en el encargado de la sección de modelos, posteriormente fue secretario del Laboratorio, subdirector y finalmente ocupó la dirección después del fallecimiento de Eduardo Torroja. Para poner a punto un sistema de ensayo se realizaron gran cantidad de estudios previos. A continuación mostraremos algunos de esos trabajos y los primeros resultados obtenidos.

Trabajos previos

En la nueva organización del LCEMC se creó una sección dedicada al ensayo en modelos. Los primeros trabajos que se realizaron fueron de fotoelasticidad, tema en que se especializó Leonardo Villena y que fue el encargado de dirigir la construcción de un nuevo aparato de fotoelasticidad con el que se realizaron diversos ensayos hasta la década de 1960.[4]

En 1946 aparece en el archivo del LCEMC la primera referencia a un ensayo en modelo reducido, es el expediente 9980 de 11 de noviembre de ese año titulado *Estudio de membrana en paraboloide hiperbólico*. Se trata de un trabajo de los que denominaban *investigaciones propias,* encargados por el propio Eduardo Torroja y orientados a la investigación en un tema concreto con vistas a la utilización de los resultados en el futuro. El expediente citado se cerró por orden del peticionario (el propio Torroja) el 17 de febrero de 1948 junto con otros expedientes de investigaciones propias. En los trabajos realizados se logró fabricar un modelo elástico en un molde de escayola por fusión a presión y temperatura conveniente, de una mezcla de gelatina, glicerina y litargirio. También se fabricó un dispositivo de carga, sin embargo, no se llegó a ningún resultado porque no se pudieron medir deformaciones debido a las irregularidades en la forma del modelo. En este trabajo se pretendía estudiar un material con un módulo de Young reducido y que se pudiese verter en un molde para poder fabricar láminas de diversas formas.[5]

El nuevo material que se desarrolló en el Laboratorio recibió el nombre de Litargel. Consistía en una mezcla de gelatina, glicerina y litargirio de plomo. Esta mezcla, a 50º de temperatura es líquida y se puede inyectar en un molde. Se trata de un material

que presenta un comportamiento perfectamente lineal en un rango de tensiones hasta cuatro veces mayor que las que estaría sometido durante los ensayos. Por otra parte, el bajo valor del módulo de Young permite que, con tensiones pequeñas y, por tanto, con cargas pequeñas, se puedan obtener movimientos fácilmente apreciables. Sin embargo, el material presenta un inconveniente, y es que sus propiedades mecánicas, fundamentalmente el módulo de Young, son sensibles a la temperatura. Para evitar errores en la interpretación de los resultados, era necesario hacer, al tiempo que se fabricaban los modelos, series de probetas del mismo material que se conservaban en las mismas condiciones que el modelo. Al realizar el ensayo, y en la misma sala, era preciso ensayar las probetas para obtener el valor del módulo de Young en el instante del ensayo. Ese valor era el que se tomaba para realizar la interpretación de los resultados.[6]

Finalmente, se crearon unos instrumentos de medida de gran precisión y poco peso. Se trataba de unos pequeños pórticos metálicos cuyos soportes, separados 30 mm, se fijaban en el modelo. En la viga se colocaban dos elongámetros, lo que permitía medir los corrimientos en una dirección como el desplazamiento entre las bases de los arranques del pórtico. Utilizando el nuevo material de bajo módulo de Young, y con los aparatos de medida ligeros pegados al modelo de modo que no distorsionasen los resultados del ensayo, se podían realizar modelos de suficiente tamaño para que las medidas se pudiesen realizar cómodamente y, gracias a las características del material, sin necesidad de aplicar grandes cargas.

La otra técnica que se desarrolló fue el empleo de microhormigón para el ensayo de láminas. Si con el litargel se construían modelos para ensayos elásticos, con el microhormigón se construían modelos para ensayos en rotura.

Primer ensayo de modelo de una lámina en rotura

Con la experiencia de esos intentos previos, en marzo de 1949 se inició el trabajo de construcción de *tres bóvedas membrana a escala 1:10* en las que se realizarían un total de 8 ensayos. Se trataba de una cúpula de planta con forma de óvalo, con un tirante en el contorno soportada en 32 apoyos puntuales simétricamente distribuidos en el contorno (figura 1). Se estudiaron diversas condiciones de carga así como la repercusión del pretensado del tirante del perímetro. El estudio fue un encargo del ingeniero E. Schubiger para la construcción de la cubierta de la iglesia de los santos Félix y Régula en Zúrich obra del arquitecto Fritz Metzger.[7]

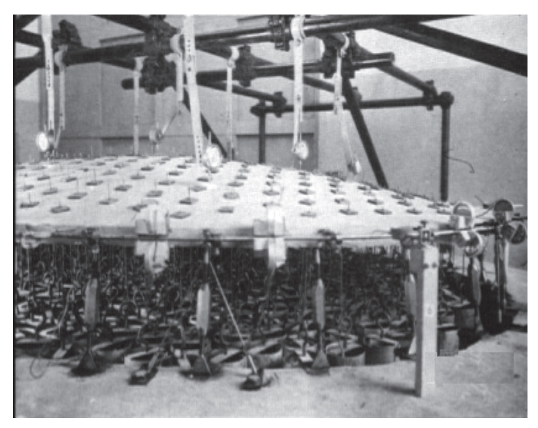


Figura 1
Modelo de la cubierta en que se pueden ver las bielas de apoyo en el perímetro de la lámina, el tirante situado en el perímetro y conectado puntualmente a la lámina, así como el procedimiento de carga mediante los cilindros de acero flotantes situados en el depósito sobre el que está colocado el modelo. Se puede ver también la disposición de los instrumentos de medida (Benito 1960)

Se trataba de una lámina de planta con forma de *óvalo de Cassini* de 24 m de eje mayor y 17 m de eje menor con una flecha de 1,6 m. Era una lámina de una curvatura muy pequeña y en la que se uno de los objetivos a estudiar era la posibilidad de fallo por pandeo.

El modelo a escala 1:10 tenía un espesor de 8 mm y se realizó con mortero armado en el que se reprodujo la disposición de las armaduras previstas en el proyecto, para lo que se emplearon alambres de acero de 0,7 mm de diámetro. En el perímetro la lámina aumentaba la sección formando un nervio de borde armado con 7 alambres de 2 mm. Además, en el contorno del modelo y fuera de la lámina se colocó un tirante de acero de 8 mm de diámetro que se fijaba a la lámina en los mismos puntos en que se realizaba el apoyo vertical. La unión se realizaba mediante un dispositivo móvil en la dirección radial que permitía

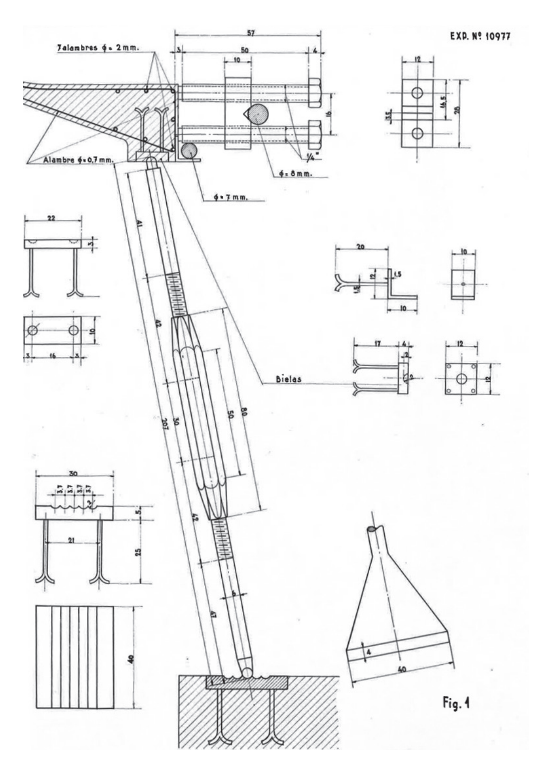


Figura 2
Descripción de la biela de apoyo del modelo ensayado en que se puede ver la disposición del armado en el contorno de la lámina, el dispositivo de tesado del armado del tirante del contorno y la posibilidad de modificar la inclinación de la biela (imagen del expediente conservado en el archivo del LCEMC)

regular la tensión del tirante. Los resultados del ensayo son de julio de 1949 (figura 2).

Se estudiaron ocho situaciones de carga en las que se midieron los desplazamientos verticales y los giros tanto en los dos ejes del óvalo que definía la planta, como en un plano oblicuo. También se registraron las tensiones en varios tramos del tirante y los desplazamientos horizontales en el arranque. De los tres modelos uno sirvió para hacer un ensayo en que se incrementó la carga hasta la rotura que se produjo con 9,60 kN/m^2, midiendo los descensos en la clave. En el segundo modelo se realizaron varios procesos de carga y descarga hasta los 4 kN/m^2 comprobando la perfecta elasticidad de la estructura. También se realizaron varios procesos de carga y descarga actuando únicamente en la mitad de la cubierta tanto en la mitad dividida por eje mayor como por el menor.

En ese mismo modelo se estudió la repercusión de movimientos en los apoyos. Para ello se cargó la lámina con 4 kN/m^2 y se hizo descender uno de los apoyos. Se observó que la bóveda se deformaba siguiendo el descenso hasta que alcanzó 0,5 mm en que dejó de tener contacto con el apoyo y la cúpula se mantuvo con un apoyos menos. A continuación se repuso la posición del apoyo hasta que se puso en contacto con la lámina y se hizo descender uno de los apoyos contiguos. Cuando el nuevo descenso alcanzó los 0,6 mm comenzaron a aparecer grietas radiales cerca de los apoyos contiguos a los dos que se había descendido. En ese instante se detuvo el ensayo, se restituyó la posición de ambos apoyos y se cerraron las grietas.

En este mismo modelo se realizó otro ensayo en el que se estudió la repercusión de la inclinación de las bielas de apoyo. En los ensayos anteriores los apoyos tenían una inclinación de 9º con la vertical. En el nuevo ensayo los apoyos alineados con el eje mayor se colocaron verticales, los del eje menor con una inclinación de 12º y los intermedios con una inclinación que variaba entre 8º y 12º. Con esta disposición se comprobó que las tensiones en el tirante se igualaban en los diferentes tramos.

Otro de los ensayos consistió en tensar el tirante con la lámina descargada hasta conseguir que la clave se elevase la misma magnitud que había descendido al estar sometida a una carga de 1 kN/m^2. En estas condiciones se volvió a aplicar esa misma carga y se comprobó que recuperaba la posición inicial. Con esto se obtuvo la tensión del tirante necesaria para producir el descimbrado de la cúpula.

Por último, este segundo modelo se cargó progresivamente hasta llegar a la rotura en 9,9 kN/m^2, observando que a partir de los 5 kN/m^2 empezaron a aparecer grietas radiales y a los 9,9 kN/m^2 se produjo el colapso por pandeo de toda la membrana.

Se construyó un tercer modelo con las mismas características que los anteriores, en el que se tensaron los extremos del tirante correspondientes al eje menor con una tensión de 120 N/mm^2. Se cargó hasta la rotura que se produjo para una carga de 12,5 kN/m^2. En este caso las grietas radiales se produjeron para una carga de 7 kN/m^2 y el colapso se produjo también por pandeo total de la lámina. Para

la misma carga, los descensos observados en el centro de la cubierta eran menores que en el ensayo sin pretensado.

Técnica de ensayo empleada

La técnica desarrollada para realizar el ensayo permitía superar las dificultades que Torroja había encontrado en sus experiencias anteriores. El modelo se situó sobre un depósito de agua construido a medida para el modelo. Para representar las acciones uniformemente distribuidas se aplicaban una serie de cargas puntuales suficientemente próximas. Para ello, la lámina tenía unos huecos por los que pasaban unos alambres de los que colgaban unos cilindros de acero. Cuando el nivel del agua del depósito se elevaba, los cilindros de acero flotaban y no se aplicaba ninguna carga. Modificando el nivel del agua se conseguía aplicar carga lentamente hasta llegar al valor deseado. Con este sistema se conseguía mantener la superficie superior libre de obstáculos con lo que se podía observar su evolución durante el ensayo. Además, los aparatos de medida se colocaban de una manera sencilla y su lectura se podía hacer con comodidad.

El sistema empleado tenía además otras dos ventajas: por una parte, no era necesario manipular el modelo cargado desde la cara inferior, con lo que se evitaba el riesgo de sufrir daños en caso de colapso, una dificultad que pudo ser fatal en el ensayo de la cúpula de Algeciras. Además, era posible observar el proceso de deformación, identificando el instante en que aparecían las fisuras en la cara superior. Se podía entonces detener el proceso de carga para estudiar con detenimiento su formación y, aumentado lentamente la carga, seguir su evolución hasta la rotura. Por otra parte, la carga se podía interrumpir en el instante adecuado evitando que la caída del modelo al llegar el colapso, con lo que se podía estudiar con precisión la forma en que se había producido. La propia manera de aplicar las cargas permitía que, en caso de aumentar notablemente los movimientos, el descenso de los contrapesos hacía que el valor de la carga disminuyese, deteniendo el proceso de rotura evitando el colapso y la destrucción del modelo.

Este sistema utilizado por primera vez en este ensayo se continuó usando con ligeras variaciones, hasta el ensayo de la cubierta del canódromo de Madrid realizado en 1962.

Ensayo en rotura de una lámina prefabricada

En septiembre de ese mismo año 1949 el propio Torroja encargó la realización del ensayo en modelo de una lámina de hormigón armado formada por 12 piezas independientes e iguales.[8] En el expediente figura como peticionario el Instituto de la Construcción y del Cemento, del que Torroja esa director en aquel momento. Se trataba de una cúpula de planta circular con un óculo central, formada por módulos independientes e iguales, unidos entre sí y soportada en doce pilares situados en los vértices de los módulos (figura 3). El modelo se hizo a escala 1:5, siendo el tamaño del prototipo 14,0 m de diámetro con un espesor de 35 mm, lo que suponía aproximadamente 1 kN/m^2 de peso propio.

El espesor de la lámina era de 7 mm en toda su superficie salvo en los bordes en que se situaban unas vigas de mayor sección. La lámina estaba armada en su plano medio con una malla romboidal de alambres de 0,6 mm de diámetro y separados 10 mm entre sí. Las vigas del perímetro tenían dos barras de 2 mm de diámetro. En esas vigas se disponían unos taladros por los que se colocaban los pasadores con los que se fijaban los elementos contiguos (figura 4). La tensión de rotura de los alambres era de 250 N/mm^2.

En una imagen que se conserva de uno de los módulo se pueden apreciar unos pequeños huecos en la superficie. Para hacerlos, sobre el encofrado se disponían unos pequeños clavos con una longitud igual al espesor de la lámina. Con ello se conseguía un doble objetivo: tener una guía para garantizar un espe-

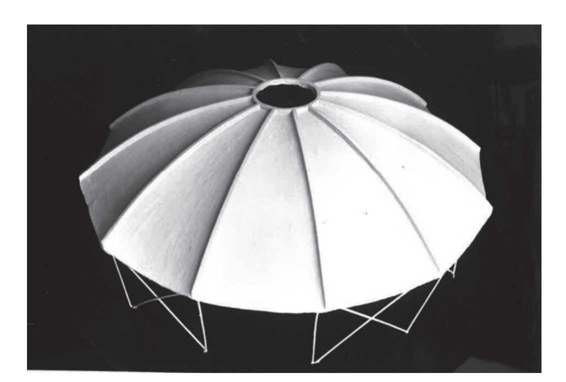


Figura 3
Maqueta del modelo que se ensayó y que se conserva en el LCEM (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

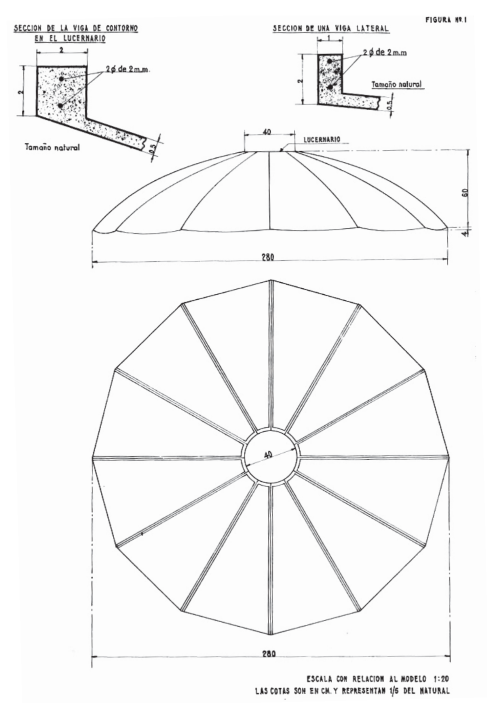


Figura 4
Descripción de la forma y armado del modelo según el plano del peticionario (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

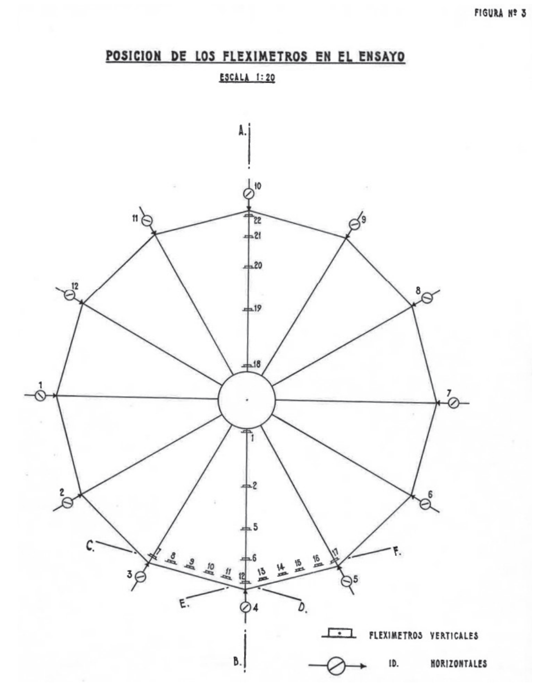


Figura 6
Plano en que se indican la posición de los puntos de medida de los movimientos del modelo durante el ensayo (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

sor constante al hormigonar la lámina y, al mismo tiempo, realizar los huecos por los que anclar los contrapesos que se utilizaban para cargar el modelo (figura 5).

Este fue el sistema utilizado en el ensayo anterior, y será el que se continuará usando en lo sucesivo en los modelos reducidos.

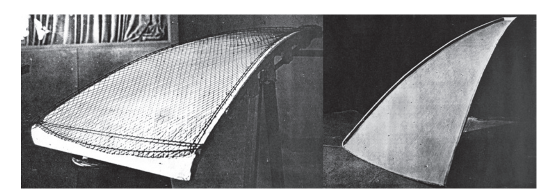


Figura 5
Imagen del módulo de cubierta antes de hormigonar con la disposición del armado y el módulo ya hormigonado en que se aprecian los huecos dejados para suspender las cargas (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

Las indicaciones de Torroja al realizar el encargo incluía la petición de ensayo hasta rotura del modelo con la medida de los movimientos radiales según un plano horizontal en los extremos de los 12 nervios, los recorridos verticales en varios puntos según uno de los meridianos de unión de dos módulos y el movimiento vertical en 10 puntos alineados en el contorno de la lámina. En la figura 6 se reproduce el plano en que se señalaban los puntos en que realizar las lecturas.

Siguiendo la disposición de la cubierta de la iglesia de los santos Félix y Régula en Zúrich ensayada meses antes, el modelo propuesto de estructura laminar prefabricada tiene unos apoyos inclinados para compensar el empuje centrípeto de los arcos meridianos (figura 7).

El nuevo procedimiento de ensayo puesto a punto permitía una aplicación controlada de la carga y con garantías de que se producía de manera uniforme.

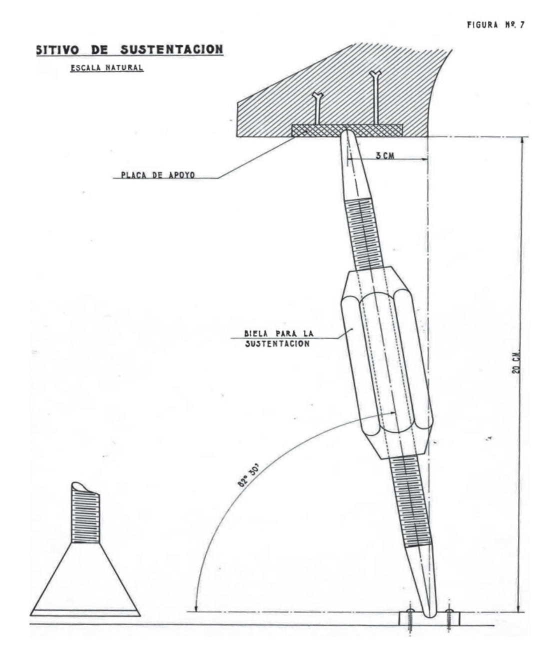


Figura 7
Descripción del apoyo de los nervios meridianos con la inclinación prevista (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

Además, se podía seguir la evolución del modelo durante el ensayo, la colocación de los aparatos de medida era sencilla y segura, lo mismo que la lectura de los resultados como se puede apreciar en la figura 8.

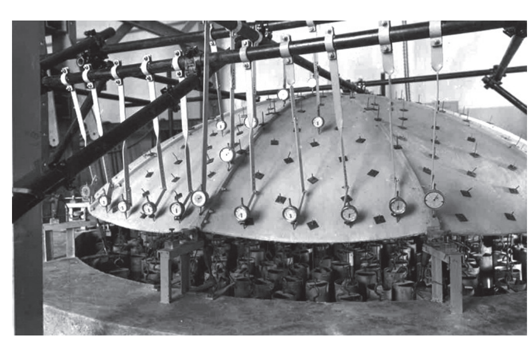


Figura 8
Imagen del ensayo del modelo en que se puede apreciar el depósito sobre el que está colocado el modelo, los cilindros flotadores que sirven para aplicar la carga, las bielas de apoyo ligeramente inclinadas y los aparatos de medida de los corrimientos (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

En la misma figura se pueden apreciar los tornillos que servían de unión entre los diferentes módulos independientes de la cubierta.

Según consta en la memoria del ensayo, las cargas se aplicaron partiendo de 0 hasta llegar a 100 kg/m², instante en que se tomó la lectura de los movimientos en todos los puntos. A continuación se aumentó la carga hasta 200 kg/m², en que se volvió a realizar la lectura de los movimientos. Entonces se descargó el modelo a 25 kg/m², volviendo a cargar en tres escalones sucesivos a 100 kg/m², 200 kg/m² y 300 kg/m².

Se volvió a descargar el modelo hasta 25 kg/m², y se inició otra serie de carga de 100 kg/m², 200 kg/m² y 300 kg/m² en que tomaron lecturas de los movimientos en cada escalón de carga. En esta ocasión, al alcanzar los 300 kg/m² se produjo la rotura. En la memoria se incluyen unos gráficos con los resultados de los movimientos registrados, indicando que son los valores medios de las lecturas efectuadas en cada escalón de carga. Tanto para las cargas de 100 kg/m² como de 200 kg/m² se realizaron al menos tres lectu-

FIGURA 11

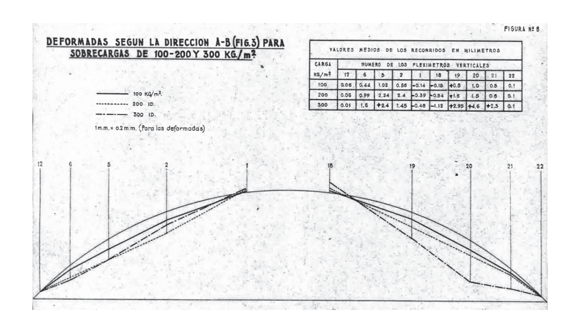
CURVAS DE DEFORMACION PARA 100 Y 200 KG./m² DE CARGA

100 KG/m²
200 KG/m²
ESCALA DE DEFORMACIONES : 1m.m = 0,1m.m.

VALORES MEDIOS DE LOS RECORRIDOS EN MILIMETROS

CARGA KG/m²	Nº DE LOS FLEXIMETROS HORIZONTALES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	0.339	0,386	0.566	0.752	0.482	0,910	0.492	0.269	0,238	0.399	0,071	0.027
200	0.476	0.521	0.749	0.802	0.906	0.826	0.886	0.766	0.744	0.289	0.488	0.166

Figura 9
Movimientos observados en el perímetro de la lámina para las cargas de 100 kg/m2 y de 200 kg/m2 (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)



VALORES MEDIOS DE LOS RECORRIDOS EN MILIMETROS										
CARGA	NUMERO DE LOS FLEXIMETROS VERTICALES									
KG/m²	12	6	5	2	1	18	19	20	21	22
100	0.06	0.44	1.02	0.56	-0.14	-0.15	+0.8	1.0	0.5	0.1
200	0.06	0.99	2.24	2.4	-0.39	-0.54	+1.6	1.5	0.8	0.1
300	0.01	1.6	+2.4	1.45	-0.48	-1.12	+2.95	+4.6	+2.3	0.1

Figura 10
Movimientos observados según el meridiano instrumentado para las cargas de 100 kg/m2, 200 kg/m2 y 300 kg/m2 respectivamente (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)



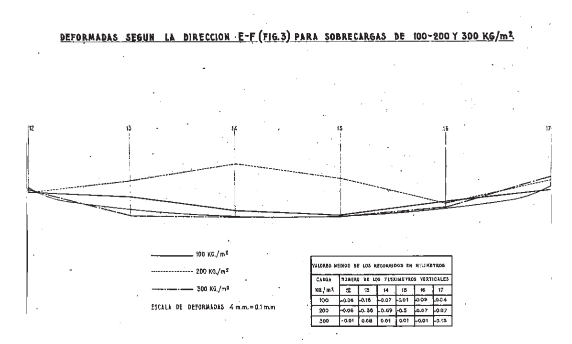
Figura 12
Imagen del modelo en que se pueden apreciar las fisuras en la lámina (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

ras y para 300 kg/m² dos. En las figuras 9, 10 y 11 se incluyen los resultados de los movimientos.

Los movimientos observados en el perímetro que muestra la figura 9 muestran que, para la carga de 100 kg/m², el extremo superior de los apoyos se desplaza hacia el interior, un movimiento coherente con el ligero desplazamiento vertical que registran las lecturas 1 y 18 de la figura 10. La forma de la lámina explica el comportamiento de los arcos meridianos. Entre cada módulo la lámina tiene concavidad hacia arriba, con lo que se comporta como un cable colgado entre los arcos extremos. De este modo, la reacción sobre cada arco además de la componente vertical tiene una componente horizontal que se equilibra con la misma componente del módulo adyacente. La resultante de estas dos componentes es una fuerza horizontal dirigida hacia el interior de la cúpula. De este modo, para ciertos rangos de carga, el arco está sometido a acciones verticales y horizontales que dan como resultado unos empujes centrípetos. En estos casos, los soportes inclinados estarán orientados según la resultante del empuje y la carga vertical.

Según se indica en la memoria del ensayo, cuando se superaba el valor de carga de 100 kg/m² se hacían evidentes unas fisuras en la lámina que se pueden apreciar en la figura 12. En todos los casos en que se redujo el valor de la carga se observó que las fisuras se cerraban.

En las figuras 13 y 14 se muestra el estado de la lámina después de la rotura. El procedimiento de en-



VALORES MEDIOS DE LOS RECORRIDOS EN MILIMETROS						
CARGA	NUMERO DE LOS FLEXIMETROS VERTICALES					
KG./m²	12	13	14	15	16	17
100	-0.06	-0.16	-0.07	-0.01	-0.09	-0.04
200	-0.06	-0.36	-0.69	-0.5	-0.07	-0.07
300	-0.01	0.08	0.01	0.01	-0.01	-0.13

Figura 11
Movimientos observados según uno de los bordes instrumentados para las cargas de 100 kg/m2, 200 kg/m2 y 300 kg/m2 respectivamente (Imagen del expediente 11181 del LCEMC).

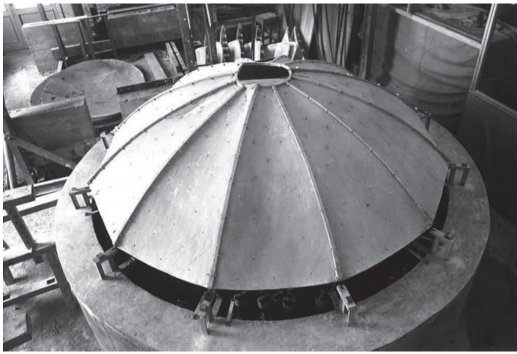


Figura 13
Imagen del modelo una vez alcanzado el colapso (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

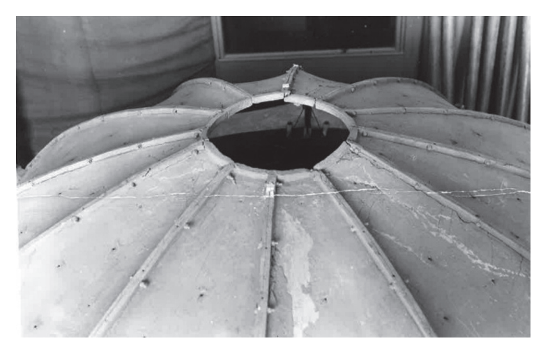


Figura 14
Detalle de la zona del óculo en que se pueden apreciar las fisuras en la lámina y la rotura en los nervios del óculo (Imagen del expediente 11181 del LCEMC)

sayo seguido permitió descargar la lámina una vez colapsada sin que llegase a destruirse y poder observar los daños producidos.

Conclusiones

Los dos ensayos presentados muestran que en 1949 Torroja había conseguido poner a punto un procedimiento de ensayo en rotura de modelos reducidos de láminas fabricados con microhormigón armado. Estaba perfectamente definido el proceso de fabricación, la definición del proceso de carga y lectura de movimientos que se seguiría utilizando en los siguientes 12 años. Contaba ya con un equipo de técnicos y operarios capaces de realizar piezas de microhormigón armado de espesores tan reducidos como 7 mm. El primero de los ensayos comentados el reconocimiento internacional con que ya contaba la actividad del laboratorio se puede deducir de los elogios que Schubiger dedica al trabajo realizado.

La propuesta original de una lámina formada por varios elementos prefabricados muestra uno de los primeros resultados de la investigación iniciada por Torroja años atrás para encontrar nuevos procedimientos de construcción de láminas alternativos al hormigón armado sobre encofrado continuo. No hemos encontrado ninguna referencia a un proyecto de este tipo construido ni que se estuviese estudiando en ese tiempo.

Esta línea de investigación no tuvo continuidad hasta que en 1959, coincidiendo con International Colloquium on Shell Structures celebrado en la sede del Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento, Torroja presentó dos prototipos de estructura laminar para hacer cubiertas formados por elementos prefabricados de hormigón armado.

Notas

1. Los expedientes del LCEM se consultaron en 1999 durante la preparación de la exposición conmemorativa del centenario del nacimiento de Eduardo Torroja y durante 2018 gracias a las facilidades prestadas por la dirección del Laboratorio.
   En 1899 se publicó el reglamento del Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción en la revista de obras Públicas (http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1899/1899_tomoII_96.pdf. Descripción del laboratorio en Moya 1900 (http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1900/1900_tomoI_1275_01.pdf).
2 Durante toda su vida profesional, Eduardo Torroja mantuvo activa su oficina técnica y toda su actividad quedó reflejada en su archivo. Gracias al convenio firmado en 2002 el contenido del archivo está depositado en el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento formando el archivo Eduardo Torroja Miret (ETM). El archivo se puede consultar en la siguiente dirección http://www.cehopu.cedex.es/etm/etm_index.htm. En el archivo original el contenido estaba organizado cronológicamente, los expedientes estaban numerados por el orden en que se habían encargado. Existía un expediente para cada trabajo. En el archivo ETM se han organizado los expedientes de modo que todo lo relativo al Laboratorio está contenido en el registro ATM-248 (http://www.cehopu.cedex.es/etm/obras/ETM-248.htm) y contiene 32 expedientes del archivo de la Oficina Técnica. Entre esos 32 se encuentre el número 439 que contiene el informe sobre el Laboratorio y el 504 del Laboratorio de Modelos Reducidos.
3. Durante el descimbrado del tramo central del acueducto de Tempul Torroja realizó varias comprobaciones que se detallan en Torroja (1927). El modelo de los lucernarios se ensayó con un modelo reducido que se publicó en Torroja (1936). El modelo de la cubierta del frontón y el ensayo se describen en Torroja (1942).
4. El Laboratorio Central de Ensayos de Materiales continua su actividad en la actualidad. Desde 1957 está integrado en el Centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento (CEDEX). En su archivo se conservan los expedientes de los tra-

bajos realizados a lo largo de su historia. Por ejemplo, el expediente 9566 corresponde a la construcción del nuevo aparato de fotoelasticidad cuyo resultado, además, se publicó en una monografía del Laboratorio (Villena 1946). En el resto del texto se harán referencias a los expedientes consultados en el archivo del LCEMC refiriéndonos a ellos por su número de orden.

5. Además del ensayo citado, se realizaron varios ensayos como el 10173 de mayo de 1947 para el *estudio de un viaducto sobre el río Miño* o el 10914 de 1949 para realizar *Ensayos con una bóveda de mortero armado* de los que no se obtuvieron resultados del estudio de los modelos, aunque se conservan datos de los ensayos en diferentes materiales como alambres y morteros para fabricar los modelos. El expediente 12479 de marzo de 1952 tenía por objeto encontrar un material con igual resistencia a tracción y compresión de 200 gr/cm^2 o superior, con un comportamiento proporcional hasta la rotura y consistencia seca para poder aplicarlo con espátula.
6. El litargel se empleó en el Laboratorio en la construcción de modelos de láminas y, sobre todo, de presas, tanto la descripción del material como de los instrumentos de medida utilizados en los ensayos está descrita en Benito, 1959, y una descripción precisa del material litargel y sus propiedades físicas, químicas y mecánicas en Moreno, 1962.
7. Los datos del ensayo se encuentran en el expediente 10977 del LCEMC. Asimismo se puede consultar Schubiger, E. 1950 disponible en https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-002:1950:68::1663#1663. También se puede consultar Student Publication of the School of Design North Carolina State, Raleig, N. C. Volume 9 Number 2, (https://d.lib.ncsu.edu/collections/catalog/ua110_200-002-bx0001-024-001#?c=&m=&s=&cv=&xywh=-1519%2C-201%2C6745%2C4000).
8. El ensayo corresponde al expediente número 11181 del LCEMC, las imágenes incluidas son del resultado del ensayo.

Lista de referencias

Benito, C. 1959. Comprobación experimental de cubiertas laminares por medio de modelos reducidos. *Informes de la construcción*, 12 (111).

Benito, C. 1960. Experimental Testing of Thin Shells by Means of Reduced Scale Models. The Student Publication of The School of Design North Carolina State College. Raleig, N. C. 9 (2). 3-15.

Moreno Castillo, Anselmo. 1962. *El litargel, material para ensayos elásticos en modelos reducidos*. *Vol. 121*. Laboratorio Central de Ensayo de Materiales. Madrid.

Moya, L. 1900. Laboratorio central para ensayo de materiales de la Escuela de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. *Revista de Obras Públicas*, 67 (1275): 74-84.

Schubiger, E. 1950. Die Schalenkuppel in vorgespanntem Beton der Kirche Felix und Regula in Zürich. *Schweizerische Bauzeitung*, 68 (17): 223-228.

Torroja, E. 1927. Acueducto-sifón sobre el río Guadalete. *Revista de Obras Públicas*, 1 (2477): 193-195.

Torroja, E. 1936. *Obras principales de hormigón armado proyectadas y dirigidas por Eduardo Torroja de 1926 a 1936*.

Torroja, E. 1942. Comprobación y comportamiento de una estructura laminar. *Memorias de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 3*. Madrid.

Villena, L. 1946. *El nuevo aparato fotoelástico del Laboratorio Central. Vol. 33*. Laboratorio Central de Ensayo de Materiales. Madrid.

Reflexiones sobre la geometría, concepción y desarrollo de las troneras en el «Libro de traças de cortes de piedras» de Alonso de Vandelvira

María Aranda Alonso

El «Libro de traças y cortes de piedra» (ca. 1575-1591) redactado por Alonso de Vandelvira entre ca. 1575 y 1591 es uno de los textos españoles más valorados del siglo XVI en el ámbito de la historia de la construcción (Barbé-Coquelin 1977; Palacios 2015). Entre sus páginas se encuentran las trazas geométricas de, aproximadamente, 150 elementos arquitectónicos como arcos, bóvedas o escaleras.[1]

El capítulo de las troneras, al que se dedica este estudio, presenta exactamente las mismas trazas geométricas en las dos copias del siglo XVII gracias a las que se conoce el contenido del tratado (Vandelvira 1575-1591).[2] Se trata del cuarto capítulo dentro de la sucesión didáctica planteada por el autor. De hecho las características geométricas de las troneras mezclan las de los tres elementos previos. Por lo tanto tras las trompas, los arcos y las decendas de cava, las troneras sirven al lector más de ayuda para aprender a dominar los métodos de traza explicados hasta el momento que como fuente de novedades formales o técnicas. Este ha sido el motivo por el que pasan muy desapercibidas en el proceso de aprendizaje y por extrapolación también han tenido escaso protagonismo en la investigación contemporánea (Palacios Gonzalo 1990, 87-97).

Su uso estaba vinculado inicialmente a la apertura de huecos en murallas o castillos para asegurar su defensa. Se trata de una forma más grandilocuente y evolucionada de las estrechas saeteras, diseñadas para el disparo de flechas, que permitiera además la instalación de cañones. Ciertamente, parece que etimológicamente el término «tronera» procede según la RAE de la palabra «trueno» asociado seguramente al «tronar» que realizaban los cañones al disparar a través de ellas. Aunque existen otros sinónimos asociados también a la función de este elemento, los vocablos más comunes en el ámbito de la artillería son «embocinadas» o «cañoneras» según Cristóbal de Rojas (1598, 97v.). Posteriormente Gelabert (fol. 61v., 115v.-117r.) las denomina en mallorquín «bombarderas», o vulgarmente «bombardas» (Rabasa 2012, 162, 318-323).

Paralelamente las troneras pueden relacionarse además con la construcción en cualquier cota de aperturas en los paramentos verticales de un edificio para introducir luz a un espacio. Esta amplia utilidad tanto en edificios de carácter civil como religioso tiene como consecuencia que el estudio de su aparición y su evolución histórica sea más difícil de concretar que para otros elementos arquitectónicos más llamativos y emblemáticos.

Geometría de la tronera

La apariencia formal de una tronera se basa inicialmente en la unión a través de una superficie de dos frentes semejantes pero desiguales. Es decir, estos frentes deben ser una pareja de arcos, elipses o dinteles cuya longitud o radio varía de un paramento a otro del muro en el que se empotra. Si uno de los dos se modifica entonces el elemento deja de ser una tro-

nera para convertirse en un capialzado, elemento al que se dedica el quinto capítulo del tratado.

Esta característica geométrica provoca que Vandelvira divida en dos partes claramente diferenciadas el apartado de las troneras. En primer lugar se encuentran los cinco ejemplos que conforman bóvedas cónicas con las que se profundiza en el aprendizaje sobre el cono que dio comienzo con el capítulo de las trompas. Principalmente se recurrirá al arco de medio punto para la definición de sus frentes. Esta tipología es vistosa a la vez que cómoda en la traza y la talla pero como dice Vandelvira: «[las troneras] pueden ser redondas y ovales y escarzanas como más convengan al edifico […]» (fol. 36r.)[3]

En segundo lugar Vandelvira plantea cuatro troneras desarrolladas a partir de dinteles. Las dos primeras van a ser extraordinariamente fáciles de desarrollar ya que su intradós conforma una superficie plana (fol. 40r.-41r.). Las dos segundas, paradójicamente, acaban desarrollando también intradoses cónicos debido a que sus frentes son seccionados por una torre cavada y redonda (fol. 41v.-43r.).

La introducción a las troneras realizada en el folio 36r. se centra únicamente, como nuestro estudio, en la presentación de la tipología «cónica» (figura 1). Las cuatro variantes incluidas se representan de una forma única en el tratado: los dos alzados frontales de la tronera aparecen abatidos en el mismo plano de la sección longitudinal central que Vandelvira denomina «perfil por el grueso de la pared» (figura 2).[4]

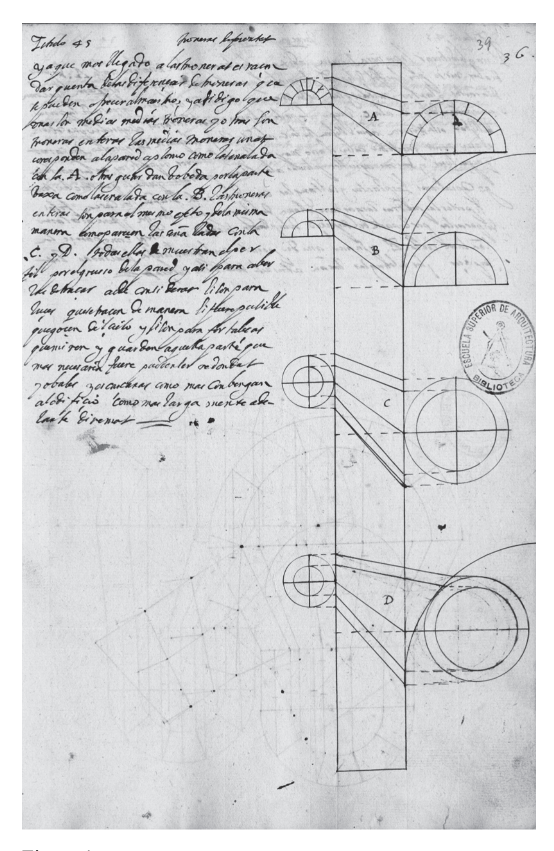


Figura 1
Troneras diferentes (Vandelvira ca. 1575-1591, fol. 36r.)

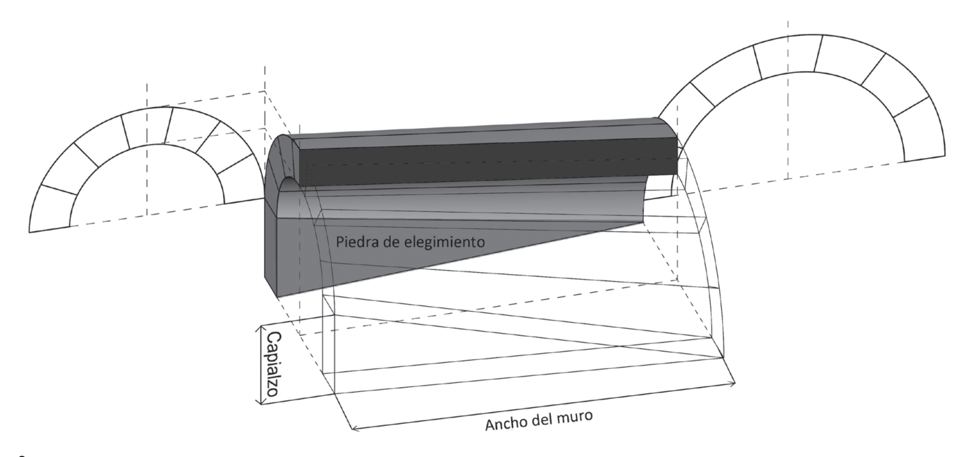


Figura 2
Perspectiva 3D del sistema de representación usado por Vandelvira en la introducción del capítulo de las troneras (fol. 36r.)
Se destaca la «piedra de elegimiento» con forma triangular en el arranque

Las letras «A» y «B» presentan «medias troneras» y la «C» y la «D» «troneras completas». Estas segundas se forman a partir de dos «medias», una para la parte superior y otra para la inferior, que se contrarrestan con su altura para dar lugar a una porción mayor de un tronco cónico. Uno de los ejemplos construidos más significativos de esta variante está directamente vinculado al autor del tratado. Se trata de las troneras con frente elíptico añadidas por Andrés de Vandelvira, padre de Alonso, en algunos de los torreones del castillo de Sabiote durante las reformas llevadas a cabo en torno a 1534 ordenadas por Francisco de los Cobos, secretario de Carlos I (figura 3).[5]

Aunque la declaración realizada por el autor que acompaña a estos dibujos de la introducción no es demasiado extensa, tras la observación de este folio el lector debería tener claro que una tronera no equivale formalmente a un «arco abocinado» (figura 4). Un arco abocinado sólo se puede asimilar a una «trompa cuadrada» (fol. 7r.) que carece de trompillón o vértice, lo cual equivale geométricamente a un tronco cónico. Vandelvira no incluye específicamente ningún ejercicio con estas características porque indirectamente este proceso debería haber quedado aclarado inicialmente con las explicaciones de las «trompas despiezadas» (fol. 8r.-10r.) (figura 5).



Figura 3
Tronera completa en el Castillo de Sabiote (Jaén). Andrés de Vandelvira ca. 1534. Foto: M. Aranda Alonso.



Figura 4
Arco abocinado en una ventana tronera de la catedral de Sigüenza. Foto: M. Aranda Alonso.

Para este arquitecto la concepción geométrica de las troneras va más allá de la del arco abocinado. Las líneas de imposta donde arrancan cada uno de los arcos van a situarse en alturas diferentes. Es decir, lo que realmente está trazando es un arco abocinado en decenda de cava cuya geometría se basa en la de un cono con oblicuidad vertical. En consecuencia esto equivale a una porción de «trompa despiezada en viaje» (fol. 10r.) o un «arco embocinado en viaje» (fol. 26v.) girado 90º en torno a un eje perpendicular al plano que contiene su frente. El caso más básico de tronera es el desarrollado en la «tronera primera» (fol. 36v.), marcada también en la introducción con la letra «A». Es de notar que, a pesar de proceder ambos de la misma geometría, este giro convierte un elemento no simétrico, como un arco abocinado en viaje, en algo simétrico como una tronera sencilla.

Si a mayores la tronera es en viaje como la «tronera en viaje» presentada en el folio 37r. entonces se superponen en el mismo elemento dos traslaciones del eje en dos direcciones diferentes. Es decir, un cono que presenta una oblicuidad en el eje vertical (decenda) y otra en el horizontal (en viaje). El conjunto de todas estas características provoca que las plantillas de los intradoses sean bastante irregulares y diferentes entre sí.

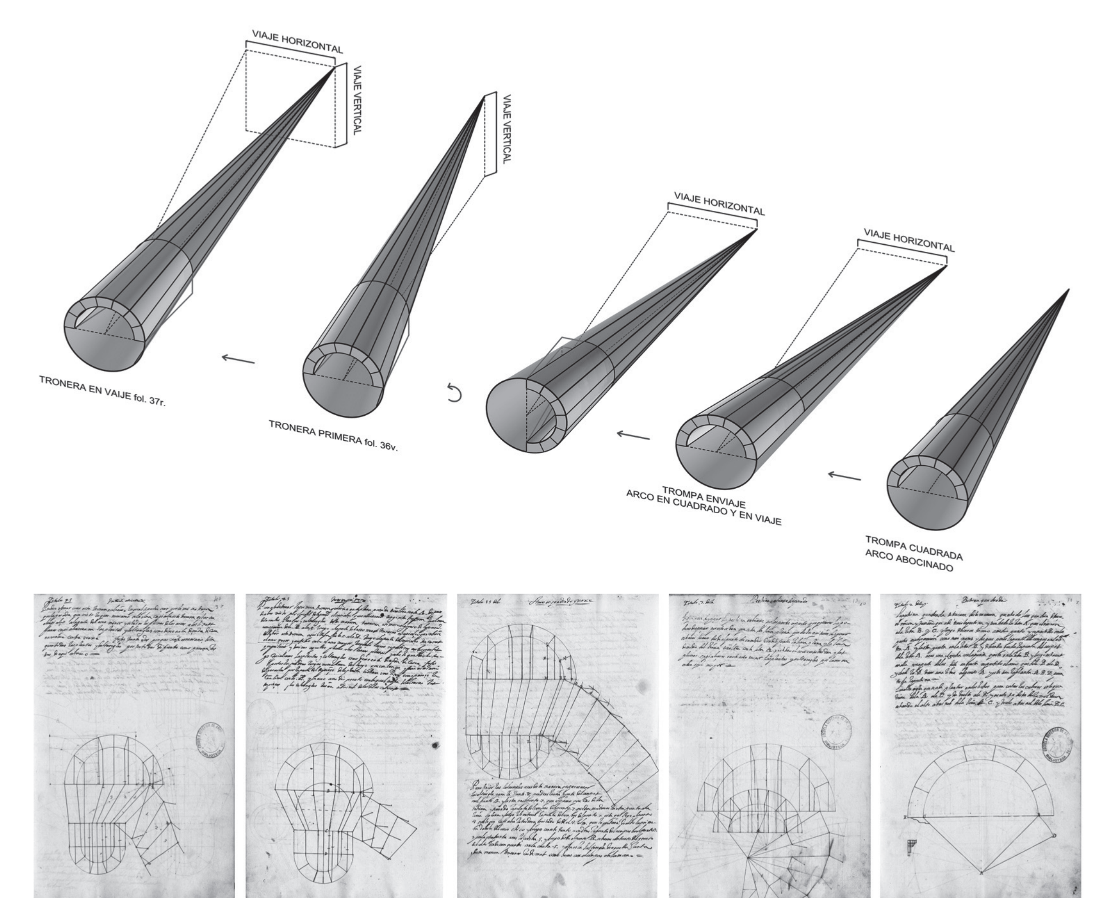


Figura 5
Arriba: geometría, abajo: equivalencia en los ejercicios del tratado. De Izq. a drcha.: Cono oblicuo vertical y horizontal («tronera en viaje» fol. 37r.); Cono oblicuo vertical («tronera primera» fol. 36v.); Transformación de la «trompa en viaje» en la «tronera primera»; Cono oblicuo horizontalmente («arco en cuadrado y en viaje» fol. 26v. y «pechina en viaje y despiezada» fol. 10r.) – Cono recto («pechina cuadrada» fol. 7r.)

Con respecto a la geometría conviene aclarar también que cuanto menor sea la pendiente de la tronera, más alejado del paramento de la pared se encontrará el vértice del cono imaginario que la conforma. Como se va a ver, esto no supone un problema ya que su localización no es necesaria para el desarrollo de la traza como lo era en el caso de las trompas.

Por otra parte los frentes pueden dejar de encontrarse en planos paralelos o seccionarse con otros cuerpos geométricos. Alonso va a mostrar con sus ejemplos prácticos diversas formas de delimitar los frentes de esta bóveda que dan lugar a diversas porciones de troncos cónicos.[6] Un caso repetido es la «tronera que guarda bóveda» muy útil para troneras donde la parte inferior de la misma se encuentra con una bóveda de cañón (cilíndrica). Esta tipología aparece representada en la introducción con las letras «B» para la «media tronera» y «D» para la «tronera completa» y se le dedican los ejercicios de los folios 37v. y 39r. Otras variantes son la de «en esquina y rincón» (fol. 39v.) o «en torre redonda y torre cavada» (fol. 38v.), soluciones que se plantean también en el tratado para otros elementos arquitectónicos.

De forma generalizada los arcos abocinados aparecen en todos los tratados y manuscritos sobre cantería. Cada autor introduce las variantes en los frentes que le interesan con secciones similares a las que proporciona Vandelvira.[7] Sin embargo, no se puede decir lo mismo de estas troneras «en viaje vertical» que tan concienzudamente expone Vandelvira. Algo similar se encuentra únicamente en los problemas 36 y 37 del tratado del padre Tosca (1727, 171-177). Ambos casos están ejecutados con frentes oblicuos pero gracias a ellos se entiende como lo que Tosca denomina «arco abocinado inclinado» es un sinónimo del concepto de tronera de Vandelvira. El concepto de «tronera completa» de Vandelvira es aún más novedoso en la tratadística. De haberse desarrollado algo similar los otros autores lo habrían hecho sencillamente a partir de la duplicación simétrica de un arco abocinado.

Parece por lo tanto que esta concepción no era en absoluto habitual dentro de la secuencia de aprendizaje de los canteros. Ésta podría ser la razón por la que tampoco es muy común encontrar soluciones construidas basadas en esta geometría.

En el caso de las «troneras medias» únicamente dispongo de un ejemplo donde claramente se observa la misma concepción que proporciona Vandelvira. Se trata de las ventanas de la cabecera de la iglesia abacial de Nª Sra. de Morienval (Francia) (figura 6). Esta parte del edificio parece pertenecer a la etapa constructiva que da comienzo a mediados del siglo XI. Su disposición se encuentra vinculada ya a la bóveda en vuelta de horno de la cabecera y por lo tanto su frente se acomoda a ella. En este caso la tronera, con su inclinación generada por la «piedra de elegimiento» triangular, ayuda a dirigir la luz hacia el altar.

En la parte inferior de esta construcción se observan varios escalones, a los que Vandelvira denomina «dentellones» y referencia como «R» en el folio 38r. Esta solución es ventajosa en el desarrollo de troneras para fortalezas, optando por una superficie lisa en el resto de situaciones.[8]

Otros elementos como los famosos pasos abovedados de la catedral de Granada no pueden ser asociados a las troneras de Vandelvira ya que la línea de imposta es horizontal.[9] El ejercicio «Deux passages en tour ronde, ébrasez, & sans rempe, tracez, par équarrissement» presentado por Dérand (1643, 188-190) es una variante de esa geometría pero sin los cruceros y con frente en torre redonda y cavada.



Figura 6
Tronera de la cabecera de la abadía de Nª Sra. de Morienval (Francia). Foto: P.poschadel -Travail personnel, CC BY-SA 3.0, Wikimedia commons.

La traza y la talla

Una vez entendida la geometría que se esconde detrás de las «troneras cónicas» es interesante intentar entender las consecuencias que ésta tiene en la traza.

Las plantillas del intradós de las trompas son siempre triangulares debida la presencia del trompillón o vértice. De ser una trompa simple entonces las plantillas salen automáticamente a partir del desarrollo del cono. Por el contrario, si el vértice de la trompa se desvía, se debe proceder al traslado de dos medidas para la acotación del perímetro de cada dovela. El proceso sigue siendo sencillo gracias a la presencia del vértice.

Sin embargo, cuando se quiere construir una tronera o la trompa se despieza, el vértice del cono se elimina y aunque su superficie sigue siendo cónica, las plantillas se vuelven consecuentemente trapezoidales. En los arcos abocinados, con o sin viaje, aún

se podría situar un vértice imaginario para agilizar la traza pero en las troneras, debido a la inclinación o decenda, este truco no tiene validez ni siquiera en su variante más básica.

Es por este motivo que para la traza de las troneras Vandelvira no tiene otra opción que recurrir a «capialzar en cruz». Se trata de un sistema basado en obtener las medidas reales de las diagonales y de los laterales cortos que conforman el perímetro de la plantilla trapezoidal del intradós para reconstruirla mediante triangulaciones.

Este «método de las crucetas» va a ser usado en todo tipo de ocasiones en las que no se puede trabajar con el desarrollo del cono, independientemente de cuál es la geometría inicial del elemento. Con él se han trazado hasta aquí en el tratado algunos arcos, la mayor parte de las «decendas de cava» y se trazarán aún otros casos, posteriores al capítulo de las troneras, caracterizados por su irregularidad formal. Procedentes de la esfera y el elipsoide la «vuelta a capazo» o la «venera oval» son dos ejemplos de ello. Por lo tanto, con este método la traza de las troneras se va a independizar de su condición cónica y va a usarse indistintamente sea la tronera en viaje o simétrica.

Para el diseño es importante también tener en cuenta que para Vandelvira el espesor de la cabeza de los arcos es idéntico independientemente de cuánto varíe el radio de los mismos de un frente al otro. Disponiendo la tronera de esta manera se consigue un espesor constante en la sección de todas las dovelas tal y como se ve en las secciones del folio 36r (figura 1). Esto equivale a tener, teóricamente, un centro para el cono del intradós diferente al del extradós. Si se produjera un cambio de espesor ambos conos compartirían el vértice. Esto se observa en las trompas de Philibert de l'Orme (Aranda Alonso 2015, 118-119) o en las dos propuestas de «trompe canonniere» de Jousse (1642, 82-85).[10] Este espesor constante puede jugar un papel importante en la estabilidad de algunas dovelas a la vez que facilitar la talla por proporcionar referencias volumétricas constantes en el proceso.

Cuando la tronera es «completa», su inclinación obliga a diseñar la parte superior y la parte inferior como dos troneras diferentes. Si además se produce un viaje, se debe poner atención en que el sentido de la parte de arriba sea el contrario del de la de abajo como muestran las figuras «C» y «D» del folio 38r (figura 7). Si la «tronera completa» fuese generada a partir de un arco abocinado, tal y como se observa

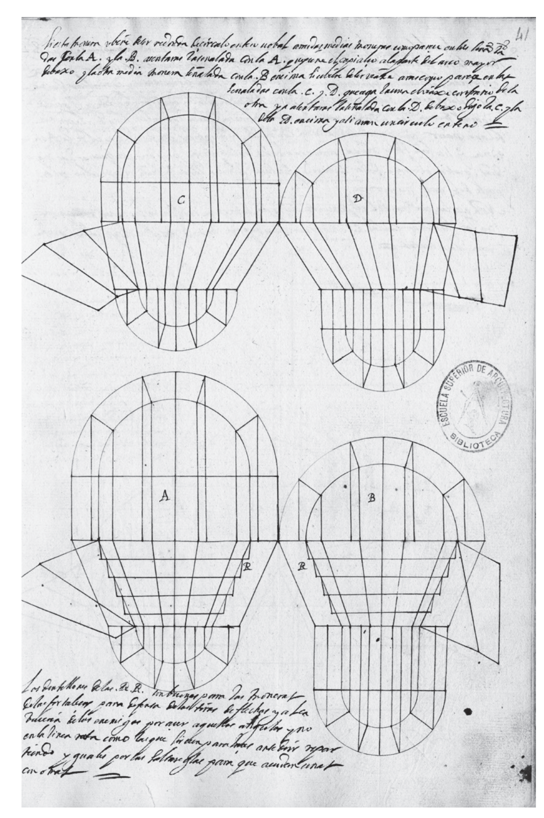


Figura 7
Arriba: «Tronera completa enviaje». Abajo: «Tronera completa con dentellones» (Vandelvira ca. 1575-1591, fol. 38r.)

habitualmente en las fachadas, esta carecería de inclinación y bastaría únicamente la traza de un cuarto del elemento para resolverla.

La variación de cota en el arranque de uno de los frentes se consigue gracias a la presencia de una piedra triangular denominada «piedra de elegimiento» (figura 2). Su uso se ha introducido ya en el tercer capítulo del tratado dedicado a las «decendas de cava» o bóvedas de cañón inclinadas. La traza de esta piedra no puede ser ignorada en ninguna variante de tronera cónica ya que a partir de ella se obtiene la longitud real de la arista inferior de la primera dovela del arco.[11] Sólo una vez conocida esta arista se pueden comenzar a trazar el resto de plantillas de las siguientes dovelas. Esta piedra no es sin embargo necesaria en el montaje final cuando se trata de «troneras completas» ya que su parte superior se

complementa con la inferior.

Esta es una información importante que difícilmente queda clara observando las partes de la «tronera completa» representadas en el folio 38r., el primer ejercicio donde se presenta la traza de ambas partes. La figura «C» comparte la línea plana del arranque de la altura con la del arco de la figura «D» y lo mismo ocurre con las troneras «A» y «B». Este método se ha elegido para que la planta del muro se encuentre en la misma posición aunque la forma más sencilla de entender este aspecto sería haciendo coincidir el arranque de los arcos en los alzados (figura 8).

Asociada a la forma de esta «piedra de elegimiento» se debe recapacitar también acerca de la dirección de la inclinación en concordancia con la función de la tronera. Vandelvira destaca este aspecto en la introducción:

> «si son para luces, que se tracen de manera, si fuere posible, que gocen del cielo, y si son para fortalezas que miren y guarden aquella parte que más necesaria fuere» (fol. 36r.)

Es decir que si se quiere usar la tronera para iluminar un espacio entonces la parte más alta será la exterior. Si su fin por el contrario es defensivo, entonces tendrán que adecuarse a enfocar la zona peligrosa localizando generalmente la parte más alta en el paramento interior. Con esta afirmación se debe entender también indirectamente que aunque este elemento sea en «decenda» no tiene porque ser asociado únicamente a bodegas o sótanos. Posteriormente Vandelvira también especifica que el arco menor es el que debe vincularse a la parte superior «a la parte del capialço traçaras el arco menor» (fol. 36v.)[12]

Esto sigue ocurriendo también en las «troneras completas» dejando la parte «B» del folio 38r. arriba como en la «tronera media» y ubicando la parte «A» abajo (figura 8). Si se piensa que la parte que mira al interior en una muralla debería ser suele ser la co-

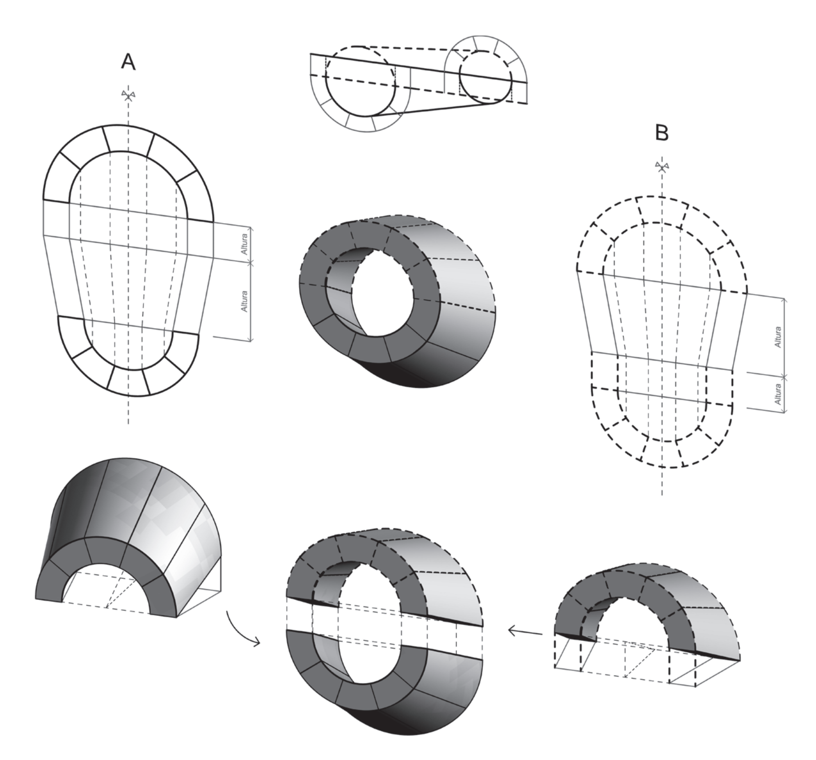


Figura 8
Visualización de las dos partes de una tronera y ubicación espacial según el folio 38r. En línea continua A, en discontinua B. Arriba: Coincidencia del arranque de los arcos en los alzados no según el espesor de su planta.

rrespondiente al arco mayor para disponer el cañón, entonces las troneras que se presentan aquí estarían más pensadas para disparar desde una posición baja. Esta disposición sería también idónea para iluminar espacios ya que la luz entra desde arriba y se desparrama hacia el espacio interior según el cono se va haciendo más grande. En el caso de tratarse de una tronera más característica para fortificaciones sería la parte «A» la que debería colocarse en la parte superior para que el tirador tenga más movilidad y el atacante menos posibilidades de atinar en el interior (figura 9). Retomando la tronera del castillo de Sabiote citada anteriormente, se observa que la premisa del arco menor en la parte superior se conserva además ubicada en el paño interior del muro (figura 3). Sin embargo parece que este diseño atiende más a un carácter estético que defensivo.

En lo que respecta a la talla, las troneras no presentan ninguna novedad con respecto a la metodología para las trompas, los arcos y las decendas de cava ejercitadas por Vandelvira hasta llegar al capítulo de las troneras (Palacios 1990, 27, 52-53). Las cortas explicaciones añadidas en estos folios están vinculadas principalmente a la concepción de las plantillas para el intradós pero las saltarreglas y el baivel o una plantilla para trasladar el frente a la piedra también son necesarias para proceder a la talla.[13] En concreto se debería proceder de forma similar a como el propio Vandelvira explica en la talla de la «pechina sarpanel en viaje» (fol. 8v.) (Aranda y Wendland).

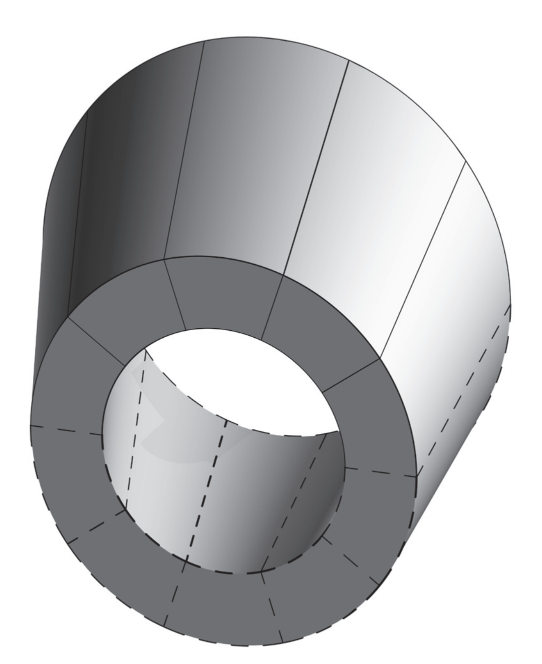


Figura 9
Tronera con la parte «B», en discontinua, en la zona inferior y parte «A» en la superior según el fol. 38r.

Conclusión

Esta comunicación pretende por lo tanto destacar la primicia que supone la introducción del capítulo de las troneras en la sucesión didáctica del tratado de Vandelvira con respecto a la que plantean otros autores. La concepción del elemento que propone este autor es prácticamente única en la historia de la tratadística sobre estereotomía. Esta brillantez procede seguramente de un dominio absoluto de la geometría. Tal habilidad podía sin duda alguna alimentar el carácter innovador del tracista puesto que éste sabía exactamente las consecuencias formales que pequeñas variaciones geométricas podían tener tanto en la traza como en la talla. Este elemento que surge de la oblicuidad vertical de un cono permite adaptarse y transformarse a las necesidades del tracista de forma muy flexible.

Por otro lado, como se ha visto, aunque la geometría de las troneras es cónica y está vinculada con las trompas, sus oblicuidades en otras direcciones provocan que su concepción espacial sea más difícil de entender en determinadas ocasiones. Su traza sin embargo tiene más en común con la de las decendas de cava o algunos arcos, ambos construidos a partir de superficies cilíndricas.

Notas

1. Este artículo forma parte de la Tesis Doctoral de la autora, dirigida por Dr. David Wendland en la Facultad de Humanidades de la Technische Universität Dresden.
2. En la copia de Sombigo los ejercicios están numerados con un título aunque en este capítulo a veces esa referencia desaparece sin dejar de contar en la sucesión. La numeración de los folios usada en esta comunicación corresponde a esta copia. En la copia de Goiti no aparecen: p. 63-71 (troneras cónicas); p. 72-78 (troneras planas).

3. Enumeración de los tipos de arcos que aparecen en el folio 18r.
4. La sección de los cuatro ejemplos ha sido enmarcada a mayores con un rectángulo que dificulta el entendimiento de la representación.
5. Vandelvira informa en el folio 39r. que el uso del arco escarzano queda descartado para las «troneras completas» por cuestiones de estabilidad y estética de la forma.
6. Posteriormente tratados de arquitectura introducirán capítulos donde se proponen todo tipo de intersecciones geométricas teóricas antes de plantearlas en la práctica con elementos arquitectónicos. Por ejemplo existen varias láminas dedicadas al cono en Frézier (1737, vol. 1: 75, 103, 111, 269).
7. A mayores de los citados en el artículo se encuentran arcos abocinados en los tratados de estereotomía hasta Frézier: Pedro Albiz (ca. ½ s.XVI): varias soluciones p. 6-8; Martínez de Aranda (ca. 1598-1608): «arcos en viaje (cónicos) p. 11-15, «arco abocinados p.33-39, «arco por esquina y rincón abocinado» p. 77-79, «arco abocinado en torre cavada recto y en viaje» p.103-107, «arco abocinado en torre redonda» p.107-108, «arco en torre redonda abocinado en viaje por cara y por testa» p. 108-109; Rojas (1598): «arco abocinado» p. 99, «arco abocinado en viaje» p. 100; Mss. 12744 Biblioteca Nacional: p. 12; Alonso de Guardia (ca.1600): «arco abocinado» 82v.; Gentillâtre (1612): dos variantes de «Arier vosure surbaise pour quagnonnier de forterts» p. 409; Torija (1661): «Bóveda desigual y que levante sus formas a nivel» p. 47-48. Portor y Castro (1708): p. 7-9: «arco abocinado», «arco abocinado en viaje», «arco en torre redonda contra cuadrado por plantas abocinado», «arco abocinado en viaje contra viaje en torre redonda y torre cavada abocinado por plantas»; Tosca (1727): Problema 34: «Arco abocinado recto en una pared vertical» y problema 35: «Formar un arco recto abocinado en una torre redonda».
8. Goiti ha olvidado localizar las R en su copia. Vandelvira hace una breve explicación a la forma de proceder para tallarlas pero el procedimiento no es muy claro: «repartiendo iguales por sus saltarreglas y para que acudan unas con otras».
9. Un estudio más intenso de la peculiaridad de su geometría se puede encontrar en el artículo científico de Salcedo Galera y Calvo López (2018).
10. La relación con las trompas se muestra incluso en el nombre. A pesar de denominarse «cannonieres» dando a entender su relación con los cañones, se sigue tratando de arcos abocinados.
11. En las «troneras a regla» la traza de las plantillas si puede ser realizada sin trazar primero esa piedra de elegimiento.
12. Esta es de hecho la única característica que diferencia a las «troneras a regla» de los «capialzados a regla» desarrollados entre los folios 43v.-45v.
13. Vandelvira propone el sistema «por robos» para todos los capialzados, incluidos aquellos cuyos frentes son ambos dinteles. Esto lleva a recapacitar que las «troneras a regla» también podrían ser talladas de la misma manera.

Lista de referencias

Albiz, Pedro (?). ca. 1/2 s. XVI. *Manuscrito de trazas de cantería.* Madrid: BIblioteca Nacional (Ms 12686).

Aranda Alonso, María. 2015. "Alonso de Vandelvira y Philibert de l'Orme. Dos tratados, dos maneras." *BSAA arte*, 81: 99-121.

Aranda Alonso, María; D. Wendland. (en prensa). "Steinplanung mit Baivel und biegsamen Schablonen bei Alonso de Vandelvira". En: *Entwurf und Planung spätgotischer Gewölbe und ihrer Einzelteile: Steinerne Ranken, wunderbare Maschinen*. Petersberg: Michael Imhof.

Barbé-Coquelin de Lisle, Geneviève. 1977. *El tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira. Edición con introducción, notas varias y glosario hispano-francés de arquitectura*. 2. vols. Albacete: Castalia.

De l'Orme, Philibert. 1567. *Le premier tome d'architecture*. Paris.

Dérand, François. 1643. *L'Architecture des voûtes: traité très utile et necessaire a tous les architectes, maîtres massons, appareilleurs, tailleurs de pierres, et generalement a tous ceux que se meslent de l'architecture, même militaire.* Paris: S. Cramoisy.

Frézier, Amédée François. 1737. *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois, pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils & militaires, ou Traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture, par M. Frézier...* , vol. 1. Estrasburgo: Daniel Doulsseker.

Gentillâtre, Jacques. 1612. *Traité d'architecture*. Manuscrito. Paris: Biblioteca nacional de Francia.

Guardia, Alonso de. ca. 1600. *Manuscrito de arquitectura y cantería.* Anotaciones sobre una copia de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principi, duchi, signori*...,Libro II, Venecia: 1566. Biblioteca Nacional de Madrid (ER/4196).

Jousse, Mathurin. 1642. *Le Secret d'architecture découvrant fidèlement les traits géométriques, couppes, et dérobemens nécessaires dans les bastiments: enrichi d'un grand nombre de figuraures, adioustées sur châque disours pour l'explication d'iceux.* A la Flèche : G. Griveau.

Martínez de Aranda, Ginés. ca. 1598-1608. *Cerramientos y trazas de montea.* Madrid: Biblioteca del Servicio Histórico Militar de Madrid (MS-457)

Palacios González, J. C. 1990. *Trazas y cortes de piedra en el renacimiento español*. Madrid: Ministerio de Cultura.

Portor y Castro, Juan de. 1708-1719. *Cuaderno de arquitectura*. Manuscrito. Madrid: Biblioteca Nacional (Ms 9114).

Rabasa Díaz, Enrique. 2012. *El manuscrito de cantería de Joseph Gelabert*. Madrid.

Rojas, Cristóbal de. 1598. *Teoría y práctica de fortificación, conforme las medidas y defensas destos tiempos: repartida en tres partes*. Madrid: Luis Sánchez.

Salcedo Galera, Macarena; Calvo López, José. 2018. "De la práctica constructiva a los textos de cantería: los pasos abovedados en la cabecera de la catedral de Granada." *EGA: revista de expresión gráfica arquitectónica,* vol. 23, 32: 154-163.

Torija, Juan. 1661. *Breve Tratado de Todo Genero de Bobedas*. Madrid: Impreso por Pablo de Val.

Tosca, Tomás Vicente. 1727. *Tratado de la Montea y Cortes de Cantería*. Madrid: Imprenta Antonio Marín.

Fragmentos de dibuxos y discursos de arquitectura de Alonso de Vande Elvira copiados y ordenados a caso por Felipe Lázaro de Goiti. s.f. Manuscrito. Madrid: Biblioteca nacional (Ms 12744)

Vandelvira, Alonso de. ca. 1575-1591. *Libro de traças de cortes de piedras*. Copias: Sombigo y Salcedo, Bartolomé. 1670 [¿] ETSAM: Ms. RAROS 31. (Facs. ed. Palacios González, J. C. 2015. Madrid: Instituto Juan de Herrera.) Lázaro Goiti, Felipe. 1646. Biblioteca nacional de Madrid: Mss/12719.

Contraste de los contextos históricos y algunas características constructivas de dos estructuras de puentes en madera construidos antes del siglo XVIII en la zona centro de Colombia

Gustavo Adolfo Arteaga Botero

Las estructuras de madera construidas durante la conquista y colonia de América después del siglo XVI, se presentan como un escenario particular, que evidencian una variedad de condiciones por ser caracterizadas en marcos específicos, como el de la historia de la construcción, ya que lo evidenciado en las crónicas y archivos de la época, dan cuenta y muestran la mezcla de saberes que se dieron como resultado, y que produjeron las habitabilidades técnicas necesarias para desarrollar en una región con condiciones físicas tan particulares y difíciles las estructuras básicas requeridas, definiendo un complejo proceso cultural poco referenciado y visto de manera general.

El clima y la topografía, son solo dos de estas características físicas particulares, y que sin duda afectaron y transformaron de manera significativa las lógicas constructivas que llegaron con los europeos. Las estructuras construidas en este contexto, se enmarcan como la resultante de una serie de decisiones, en medio de un escenario con marcadas restricciones, que produjo formas constructivas específicas. Por lo tanto, si las características de estas formas constructivas son contrastadas a la luz de los conjuntos hoy reconocidos e investigados, es posible establecer vínculos en los contextos de los desarrollos observables, y particularizar los fenómenos dentro de una lógica de revisión histórica de los aspectos técnicos y tecnológicos, permitiendo delimitar las características de las adaptaciones en los aspectos constructivos que llegaron con los europeos, y el proceso como se amalgamaron con los encontrados, dentro de la rutina del hacer y la necesidad. Acá asociar a tipologías constructivas claves para estas primeras fases de exploración y colonización (como los puentes construidos para cruzar los grandes ríos), son una oportunidad para iniciar la revisión en el sentido propuesto con anterioridad.

Introducción y aspectos históricos generales

Desde finales del siglo XV la llegada de europeos a suelo americano fue común en lo que se denominó como descubrimiento, ya que se generaron grandes expectativas sobre el territorio americano por las exóticas características y las riquezas que eran narradas en la primeras descripciones, lo que produjo un interés por la exploración de los territorios (Antón and Varón 2015) en donde los cronistas, ilustradores, comunidades religiosas y científicos, fueron actores claves en el proceso de documentación y registro, y determinantes formar la imagen del nuevo mundo (Gonzáles Ochoa 2012) posteriormente.

En un primer momento, las narraciones tenían como objetivo escribir «la historia de la monarquía»(Añón, Valeria 2013) y el autor Gonzalo Fernández de Oviedo[1] es reconocido por ser el primero en sistematizar el tratamiento de lo registrado. Su obra Crónica de Indias, la Historia general y natural de las Indias de 1526 en versión original (Fernández de Oviedo and Miranda 1979), fue un aporte signifi-

cativo en la condición de protocolo para el tratamiento de la información recolectada, lo que permitió que otros cronistas que llegaron décadas después y continuaran el proceso desde la visión de: «intención de decir la verdad y contar honradamente lo visto» (García Ángel 2013, 10) enriqueciendo de manera considerable los archivos y han permitido conservar el material, facilitando hacer revisión de los escenarios con un sentido histórico y entender las formas en que se dieron los procesos culturales en territorio americano en este período.

En este marco, hay aspectos que conforman en la actualidad nuevas dimensiones para analizar, donde un primer avance significativo es el denominado de forma general «Colonización Antioqueña» (Parsons 1949), que da bases para estudiar algunas generalidades y estructurar las particularidades de los contextos en que se dieron los procesos culturales migratorios al interior de Colombia, lo que robusteció un campo donde otras investigación más recientes como las de J. Aprile, y A. Saldarriaga dieron profundidad y caracterización desde los aspectos constructivos que se definieron como atributo especial y de valor dentro del proceso, con marcos temporales específicos que han permitido el desarrollo de teorías para estudiar con mayor detalle los fenómenos.

El caso de *Los sistemas constructivos de baja altura en Manizales* (Muñoz Robledo 2012), es un ejemplo de lo descrito anteriormente, ya que al colocar énfasis en las arquitecturas populares y domésticas desde la descripción de los elementos en los conjuntos constructivos por épocas y dando cuenta del nivel y los tipos de sistemas realizados, permitió identificar los aportes de los «constructores» siendo notorio y significativo lo relacionado con la mano de obra dentro en estos procesos técnicos-culturales, que visto desde la perspectiva del Bahareque del antiguo Caldas (Sánchez Gama 2007) profundiza en el rol de los «carpinteros» (Robledo y Flórez 2016, 47), haciendo que se puede especificar e identificar como un fenómeno determinante en el desarrollo de las técnicas y en el «armar», la rutina constructiva de gran importancia en medio del contexto cultural que es marcado por las restricciones y dificultades.

Lo anterior también se sitúa en el planteamiento propuesto en la visión «artesano e ingeniero» (Díaz, Restrepo, and Henao 2013, 117) como tensión presente en el procesos cultural de interés, donde los saberes son interpretados por otros que son los realizadores, lo que abre un espacio que posibilita hacer lecturas con mayor sentido en las características constructivas, donde la condición de una «arquitectura sin arquitectos» (Robledo y Flórez 2016, 48) debe mediar, para comprender la producción edilicia particular hasta entrado el siglo XIX en la región de interés (ver Figura 1).



Figura 1
Localización en Colombia de los departamentos donde los procesos de colonización se han particularizado. Elaboración propia con Q-gis

En este punto se establece como pretexto para investigar dicha posición, el observar las estructuras que fueron narradas en las crónicas históricas e ilustradas con detalle, y es donde la reciente publicación hecha por el Banco de la Republica de Colombia desde su Biblioteca en la colección denominada: Imágenes de Viajeros[2] (Banco de la Republica 2017b) la cual se enmarca como un documento de interés particular por el criterio histórico y rigor metodológico con que se produce. De esta dos ilustraciones de puentes de madera construidos en la región central del país presentan características de interés para estudiar desde la lógicas enunciada con anterio-



Figura 2
Pont sur la rivière Otun” (Puente sobre el río Otún). Autor: De Neuville, A.; CharlesSaffray.



Figura 3
Pont de bambous dans la vallée du Cauca (Puente de bamboo en el valle del Cauca) Autor: Dardoize; Alexis Conde de Gabriac

ridad, ya que resaltan atributos que brindan la oportunidad para establecer los posibles vínculos en cuanto el «armado» de las estructuras de madera desde el entendimiento en primera medida del material en su contexto físico, y después, desde el papel de la tradición constructiva o del «carpintero» que llega con los europeos para materializar este tipo de estructuras necesarias en los procesos culturales iniciados en la colonización.

Las ilustraciones de los puentes con título: Pont sur la rivière Otun (ver Figura 2) y Pont de bambous dans la vallée du Cauca (ver Figura 3), son los seleccionados para establecer desde el análisis de las características propuesto el posible escenario de vinculación técnica que puede dar argumentos para seguir en el desarrollo de las teorías referenciadas y que acompañen de esta manera la revisión y formulación histórica especifica del proceso de poblamiento en la región de interés, donde también el contexto especifico (en cuanto el medio donde se construyen las estructuras) juega un papel especial, ya que es determinante en las decisiones básicas como: la escogencia de los materiales, el dimensionamiento de los elementos constructivos y las técnicas constructivas.

Contexto para la realización de las estructuras

En las rutas seguidas por los exploradores desde el siglo XVI, los caminos que comunicaron la zona sur y norte del Virreinato y que cruzaban la región central del territorio, fueron de gran importancia dentro de los objetivos de la monarquía respecto a la explotación de los recursos encontrados y es donde la riqueza minera, que fue hasta 1780el único material de exportación (Orche and Puche 2000, 415), lo que marcó de manera especial los intereses de la Corona, obligando a la optimización de los trazados y a la construcción continua de otras rutas de forma constante, con lo que las estructuras realizadas para superar las condicionantes topográficas difíciles se hicieron objetivo estratégico para permitir (dentro de la dinámicas económicas extractivas planteadas) la explotación y envío de los recursos extraídos a territorio europeo.

Las crónicas de la época señalan que muchas de las rutas usadas ya habían sido trazadas por los grupos originales prehispánicos que habitaban los territorios, y los europeos las tomaron junto con las es-

tructuras encontradas, ya que la dificultad para el transporte de materiales y las herramientas no permitía la intervención sobre estas o crear nuevas alternativas. Sin embargo sobre este apartado hay posiciones en construcción y es una tarea por hacer (Galindo 2003, 17) ya que el uso ceremonial de las rutas prehispánicas y de tráfico humano menor, no tenía el sentido de conexión e interacción económica de grandes volúmenes, lo cual si era de objetivo para los Españoles. En este sentido la lógica de construir un sistema vial capaz de articular las regiones es traído por los europeos, pero en todo caso se tiene claridad que en algunos casos se sirvieron de las estructuras preexistentes (ídem, pág. 17) y por lo tanto construidas por las comunidades prehispánicas.

Este escenario plantea una primera reflexión en torno a:¿quiénes construyeron las estructuras? y lo más importante ¿quiénes las mantuvieron operativas?; y bajo esta perspectiva ¿qué figuras tanto prehispánicas como española fueron pensadas con el encargo de mantenerlas operativas? ya que por el tipo de materiales y las condiciones climáticas se puede suponer que el mantenimiento de estas estructuras debía ser constantes para garantizar su uso dentro de los procesos económicos de la época.

En este punto los puentes seleccionados para la investigación por los tipos de materiales que se representan en las ilustraciones y las geometrías de los conjuntos estructurales, permiten conformar un marco de análisis preliminar para complementar las características y las determinantes físicas de la región (ver Figura 1), ya que las ilustraciones permiten entender las lógicas constructivas desde los elementos usados, los cuales brindan la posibilidad de localizar en el territorio al plantear las preguntas que debieron ser respondidas desde las maneras de construir las estructuras de interés; con lo que, según estas características constructivas, la estructura de cada puente se puede limitar en un contexto y facilitar la localización, lo que se presenta como un aporte en cuanto abrir un foco para vincular más datos pertinentes y producir información adicional que pueda profundizar en el entendimiento de estos hechos bajo la perspectiva de historia de la construcción. En este punto el Figura 4 amplia las consideraciones, ya que suma a la visión de región propuesta en Mapa 1, los hechos topográficos los que resultan ser determinantes bajo la perspectiva de fuertes cambios en los elementos que constituyen el lugar. Los valles de los grandes

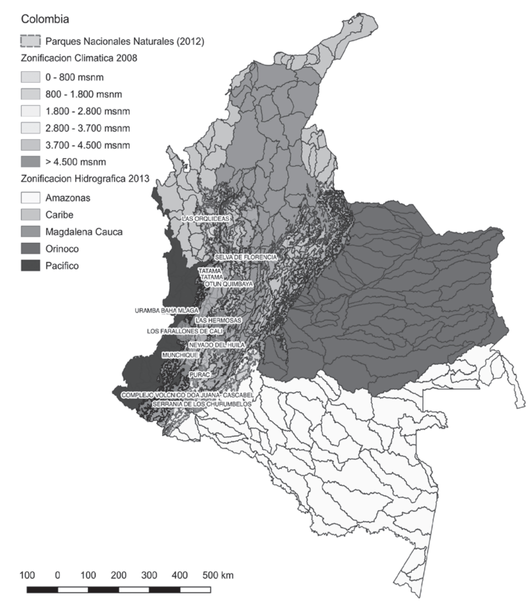


Figura 4
Localización dentro del mapa de Colombia, de las características físicas de la región. Elaboración propia usando Q-gis

ríos como el Cauca y el Magdalena (que fluyen perpendiculares a la línea ecuatorial) se contrastan con montañas nevadas, sistemas volcánicos y profundas depresiones que delimitan ecosistemas con recursos únicos, lo que resulta también ser una posibilidad para el entendimiento de los sistemas constructivos si es posible estructurar los atributos característicos de los elementos usados y delimitar según dicha condición.

Elementos para contrastar las estructuras de madera de interés

Los ilustradores Alphonse-Marie-Adolphe Deneuville (A. De Neuville), Charles Saffray, Dardoize y Alexis (Conde) de Gabriac son los autores de las imágenes de los dos puentes de interés, que dentro de la colección *Imágenes de Viajeros* muestran con detalle las particularidades técnicas de los conjuntos estructurales, lo cual se presenta como una posibilidad para generar información específica que vinculen los contextos físicos, en cuanto comprender las respues-

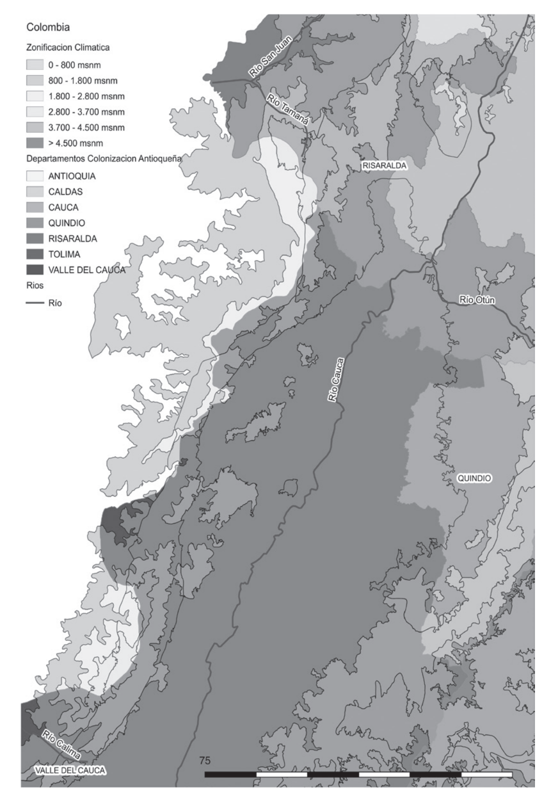


Figura 5
Localización en detalle del contexto de inserción de las estructuras de madera en Río Otún y Cauca. Elaboración propia usando Q-gis

tas técnicas a las necesidades que se presentaron en lugares específicos representados.

El primer puente ilustrado esta sobre el Río Otún (Figura 2), el que se encuentra localizado en el departamento de Risaralda y nace en la laguna del Otún (dentro del macizo volcánico montañoso y Parque Natural de los Nevados en la región central de Colombia) desembocando en el Río Cauca 78 kilómetros después en sentido norte. El segundo puente (Figura 3) se localizada sobre un cuerpo de agua en el departamento del Valle del Cauca (departamento que toma su nombre por el Río Cauca). Este departamento limita por el norte con el departamento de Risaralda, lo que define que la localización de los dos puentes esta una zona hidrográfica del mismo sistema denominado Magdalena Cauca, sistema que presenta características climáticas similares, lo que se traduce en factores dentro del contexto de desarrollo de las técnicas constructivas, hasta el momento, similares.

La Figura 5 permite ver mapa en detalle esta primera delimitación teórica según la localización de las características que se pueden obtener de forma preliminar tanto de los títulos como de las imágenes, y definen unas condiciones de interés al inscribir en contextos cercanos (sino el mismo) las dos estructuras.

En este punto se plantea que las estructuras son respuestas posibles en diferentes momentos y/o realizados por diferentes constructores y que si bien con las diferencias evidentes en las ilustraciones se podría afirmar lo mismo, solo en el momento que se inscriben en un contexto cercano, es que las dos estructuras de puentes evidencian en la diferencia a simple vista la manera particular en que son concebidas y proyectadas, dando contraste a esto evidente y planteando una separación temporal marcada entre las construcciones en donde el uso de las dos lógicas constructivas y el uso de los elementos constructivos disponibles son diferencial y de interés, ya que en la tradición constructiva de la «carpintería de armar» en el escenario de Colombia (Díaz, Restrepo, and Henao 2013) esto es determinante y se establece por lo tanto como vínculo teórico para comprender desde los diferentes aspectos (la geometría, la modulación de los elementos de los conjuntos estructurales, los materiales empleados, la transformación de estos elementos, la tipología, entre otros) las maneras en que los desarrollos se dieron, enmarcados en momentos específicos que describen de manera precisa las lógicas de la realización constructiva; lo que se presenta metodológicamente como una oportunidad para estudiar el conjunto estructural como elemento de una época y que narra con detalle las características de su contexto (lo que también puede ser estudiado), profundizando en el entendimiento (en una visión de causa y efecto a cada reto constructivo que surgía en medio del contexto cultural) y en donde la mano de obra (carpinteros empíricos) es sin duda el factor que más afecta el resultado, ya que se entiende como el medio de producción y resultante de las transformaciones asociadas a en primera medida con los materiales de los cuales disponía.

En este sentido el primer puente al ser visto en detalle en la Figura 2, denota el uso de la madera para lograr el conjunto estructural básico de soporte (ver Figura 6) según parámetros que pueden ser rastreados

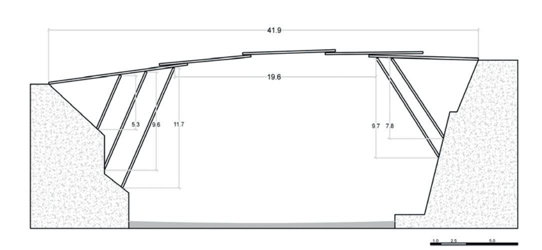


Figura 6
Alzado de estructura de madera del puente Grafica 1Pont sur la rivière Otun" (Puente sobre el río Otún). Elaboración propia.

dentro de los tratados específicos de carpintería que llegaron a América después del siglo XVI con los europeos al colonizar la región, y anuqué de manera rudimentaria (que puede responder a las dificultades propias del entorno para el transporte de la materia prima y la transformación de la misma para la necesidad), se puede ver en la geometría constructiva similitudes al ser contrastado con los ejemplos de los tratados (Ver Figura 7). Lo primero que se puede asociar, es la forma como se usa el terreno para soportar las ménsulas de madera, para lo cual se debe escalonar la superficie lateral haciendo que el tratamiento del terreno sea un primer proceso constructivo que se puede ver tanto en tratadística como en el puente sobre el Río Otún. Respecto a las estructuras armadas de madera, en el tratado de contraste utilizado (Blouet 1860), se evidencia un alto tratamiento de los elementos de madera, previo al armado de la estructura, lo que se traducen en una mano de obra especializada y conocedora del uso de las herramientas; lo que en el puente realizado sobre el Río Otún no se evidencia y por el contrario, se puede ver poca estandarización de los elementos estructurales básicos, generando una geometría poco regular del conjunto, demostrando que la mano de obra tenía la capacidad para realizar obras

Figura 7
Estructura de puente de madera en tratado de Guillaume-Abel Blouet (Blouet 1860, 412-13).

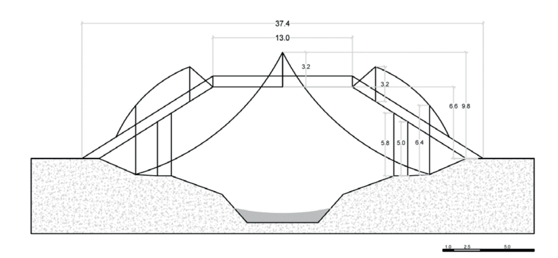


Figura 8
Alzado de estructura de madera del puente Grafica 1Pont sur la rivière Otun” (Puente sobre el río OtúnGrafica 2 Pont de bambous dans la vallée du Cauca (Puente de bamboo en el valle del Cauca). Elaboración propia

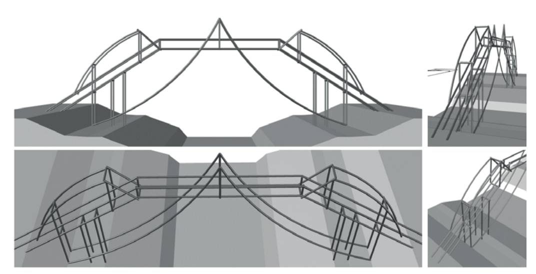
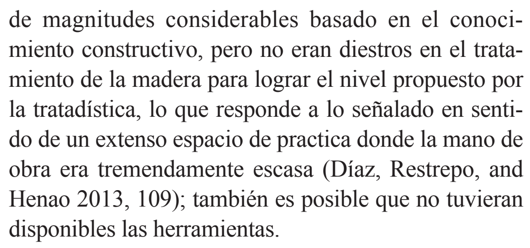


Figura 9
Modelo 3D de la estructura de puente de la Grafica 2 Pont de bambous dans la vallée du Cauca (Puente de bamboo en el valle del Cauca). Elaboración propia



de magnitudes considerables basado en el conocimiento constructivo, pero no eran diestros en el tratamiento de la madera para lograr el nivel propuesto por la tratadística, lo que responde a lo señalado en sentido de un extenso espacio de practica donde la mano de obra era tremendamente escasa (Díaz, Restrepo, and Henao 2013, 109); también es posible que no tuvieran disponibles las herramientas.

El segundo puente, al ser visto en la Ilustración 6, denota condiciones constructivas que lo alejan del ejemplo anterior (y de la misma tratadística europea de la época), ya que el solo uso del bambú como material, lo saca del eje fundamental de la lógica constructiva en madera y lo vincula con condiciones posiblemente encontradas en América durante el proceso cultural de colonización.

En este punto, el contacto con los pueblos indígenas fue común (documentado ampliamente en las crónicas de la época), y a diferencia de lo hecho en Centroamérica, donde fueron exterminados, en Suramérica las comunidades fueron esclavizadas, haciendo de la encomienda (Benedicto and Álvarez 2016, 128) la base para el uso de dicha población como mano de obra (Bonnet Vélez 2009), lo que se traduce de forma directa, en fenómenos de intercambio y apropiación de conocimientos, donde las tradiciones constructiva prehispánicas se configuran como una influencia.

Con el uso del bambú como material estructural del puente en el valle del Río Cauca, hay un valor especial que representa un ejemplo donde el cambio del elemento de soporte, es una diferencia en la lógica constructiva y como lo muestra la Figura 8 la geometría adquiere otras formas para poder aprovechar las características favorables del material.

Como lo termina de mostrar la Figura 9, el conjunto cambia en su totalidad para responder al material guadua, primero desde la lógica de la resistencia que tiene (en función a el uso dentro del sistema), la modulación y dimensionamiento del material (según lo que se tenía a disposición y posibilidades de transporte y procesamiento) y las técnicas para unir los elementos (ensambles, anclajes, amarres) y conformar de esta manera los conjuntos estructurales y cumplir con el objetivo de la estructura de puente.

Es en este punto donde poder contrastar las dos estructuras bajo las lógicas de sus contextos físicos se muestra como la oportunidad para respaldar las reflexiones hechas de manera general, en cuanto las razones para incorporar el uso de algunos materiales como la guadua, las formas de trabajar, el cómo se entendía el material dentro de los sistemas estructurales y las influencias recibidas para que los *constructores* dieran las respuestas vistas, entendidas como un procesos cultural, del cual hoy podemos ver con algún grado de facilidad las que lograron un mayor grado de desarrollo por ser las más actuales, pero estas estructuras no denotan la condición del proceso de manera clara, ya que no dan cuenta de la serie de decisiones previas que permitieron el perfeccionamiento del sistema hasta llegar a lo que por ejemplo hoy denominamos Bahareque Caldense.

Acá el caracterizar las diferentes estructuras desde los insumos posibles (como las ilustraciones que reposan en las crónicas), permiten estructurar e ir delimitando contextos particulares para comprender de ma-

nera amplia los procesos constructivos según los momentos específicos y profundizar también en el entendimiento de los atributos que fueron determinantes.

Discusión y reflexiones sobre las condiciones constructivas de las estructuras de los puentes

Los puentes identificados e investigados (Figs. 2 y 3) evidencian en primera medida dos respuestas constructivas que están inscritas en un mismo contexto territorial (tratado en las generalidades) lo que muestra que las lógicas particulares que definen la tipología de cada una de las estructuras no se asocian de forma directa a la localización geográfica y responde a otro tipo de condiciones como puede ser la mano de obra que realiza cada una o el momento. En este punto el uso de la guadua visto para la realización de la estructura del segundo puente se anuncia como un elemento diferenciador que requiere un tratamiento histórico particular ya que desde la cultura Maya se ha podido rastrear su uso (Trabanino and Nuñez 2014) lo que lo posiciona como un material reconocido por sus características lo que representaron su uso generalizado en culturas prehispánicas y que por las particularidades del procesos de colonización termino siendo adoptado por los españoles reconociendo también características favorables lo que de alguna manera indujo a que las tradiciones constructivas se amalgamaran y la mano de obra encargada de la realización de estructuras posteriores a las investigadas fuera perfeccionando e hibridando cada vez más las lógicas que se colocaron en contacto en la región de interés (Figura 4).

Esta reflexión permite respaldar que los dos puentes investigados son posibles referentes que dan cuenta de un momento previo a dicha hibridación y que enmarcan temporalmente un escenario donde existían en la región las dos lógicas constructivas como fuente de producción de estructuras y del cual tiempo después se tomaron los conocimientos técnicos necesarios para generar los sistemas constructivos que hoy reconocemos. En este punto es importante retomar la perspectiva que al ser la madera un material que es extraído de un ecosistema especifico y bajo unas determinantes acotadas, permite delimitar con mucha más precisión los contextos de influencia y es en donde la guadua como material, permite sumar parámetros que terminan de conformarlos, ya que la guadua es un tipo de bambú que se desarrolla bajo condiciones especiales, como altura a nivel del mar, humedad, tipo de suelos entre otras. Lo que visto desde la perspectiva planteada de revisiones procesos suma una determinante que condiciona los fenómenos técnicos de la guadua y por lo tanto como se evidencia la colonización desde lo constructivo a un contexto biológico que produce el cultural y del cual es resultado el sistema constructivo que de alguna manera representa el fenómeno como se ha querido mostrar en cuanto una colonización Antioqueña.

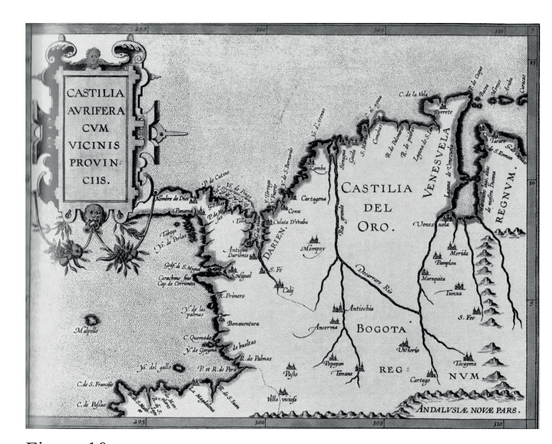


Figura 10
Castilla de Oro ("Castilla Aurifera cum vicinis provincias", 1600)



Figura 11
Terra Firma et Novum Regnum Granatense et Popayan (Janssonius, 1637)

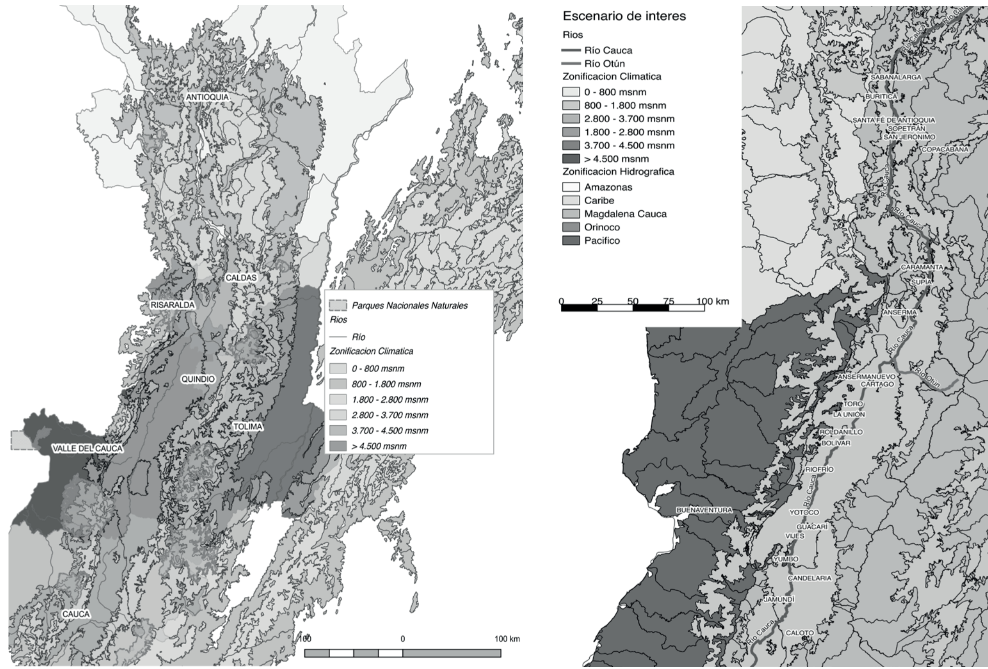


Figura 12
Zonificación climática de la región centro de Colombia con altura sobre nivel del mar y localización de Parques Nacionales donde hay partes del sistemas volcánicos del país. Elaboración propia usando Q-gis

Figura 13
Localización de centros poblados fundados durante la colonial en la zonificación hídrica Magdalena Cauca, en alturas entre los 800 y 1800 metros sobre el nivel del mar. Elaboración propia usando Q-gis

La Figura 10 y Figura 11 son cartografía de la época, muestra la dirección de lo que Aprile denomino «penetración andina» (Aprile 1991) dada hasta 1560 y donde el Valle del Rio Cauca se identifica fácilmente como ruta lo cual visto en detalle en el Figura 12 considera como determinante la condición topográfica y en esta solo se puede identificar un cruce sobre la cordillera central en dirección al valle del Rio magdalena a la altura de lo que hoy es Bogotá.

Al sumarle la capa climática del Mapa 6 se puede visualizar y comprender que las características ambientales que definen las condiciones favorables que requiere la guadua como: la altura entre los 800 y 1800 metros sobre el nivel del mar, suelos con sustratos de origen volcánico, alta humedad relativa, entre otras (Salas 2006), son también el escenario socio-cultural donde los fenómenos descritos como colonización se dieron, con lo cual el vínculo entre material constructivo e imagen arquitectónica (que es mediada por las tradiciones constructivas) adquiere una dimensión considerable y se establece como previa al ser proviene de las circunstancias ambientales especificas del contexto donde el proceso cultural se identificó y se ha estudiado en las últimas décadas.

La Figura 13 como mapa de síntesis, muestra la zonificación climática desde los 800 hasta los 1800 metros sobre el nivel del mar, la capa de la zonificación hidrográfica Magdalena-Cauca y los centros poblados fundado en la época colonial (antes de 1600), terminando de enmarcar el escenario de interés para seguir observando en detalle los fenómenos asociados al proceso cultural.

Conclusiones

1. Dentro de lo observado a lo referente al contexto particular de las dos estructuras de puentes en madera en la región centro de Colombia, es de interés poder

identificar que se localizan en un contexto muy cercano de condiciones ambientales llegando inclusive a poder proponer que hacen parte de un mismo contexto si es usado como parámetro el sistema hídrico.

Dicha condición permite respaldar lo obvio en cuanto que el puente de la Ilustración 2 es prehispánico y por lo tanto construido por comunidades originarias, lo que lo sitúa en un periodo anterior al siglo XVI. Para el segundo puente mostrado en la Ilustración 1es posible establecer que fue construido bajo influencia de los españoles por lo cual se da la posibilidad de ubicarlo en la tratadista que llaga con ellos. Lo anterior permite proponer que fue construido después del siglo XVI y también, por la cartografía consultada y las referencias usadas (como las de Aprille), es posible decir que la construcción es posterior al año 1530 ubicándolo posiblemente cerca de la fundación de Santiago de Cali 1536, Cartago en 1540 y de Santa Ana de los Caballeros (hoy Anserma) en 1539, aunque la ilustración sea cercana a 1850.

II. Bajo la condición temporal definida en conclusión anterior, el segundo puente referenciado (ver Figura 3) al ser prehispánico y estar sobre uno de los corredores más importantes del periodo de la conquista y colonización, como es el definido por el Valle del Rio Cauca (Galindo 2003, 9), permite comprender que las estructuras sobre este eje fueron rápidamente tomadas por los Españoles y mantenidas para su uso, mientras que en otras rutas que se planteaban como de interés, debieron construir estructuras rápidamente para hacer explotación de los recursos.

Acá el puente sobre el Rio Otún visto en la Figura 2 responde a dicho planteamiento, ya que la dirección del cuerpo de agua es perpendicular a los valles referenciados y en dirección a las minas de oro ubicadas entre Santa Fe de Antioquia fundada 1541 y Santa Ana de los Caballeros en 1539 como Quiebralomo (Sandoval 2012), lo que se plantea como apunte de interés, ya que el tipo de puente que supera las condiciones para trafico solo humano y es proyectado para el paso de animales de carga (como lo deja ver la ilustración), hace pensar que la realización temprana de este puente surge de un interés estratégico de la Corona, en el sentido de ampliar las vías de comunicación y consolidar el sistema que permita la actividad extractiva de metales preciosos ya referenciada, la cual fue hasta 1780 único renglón de exportación a tierras europeas registrado (Orche and Puche 2000, 415), lo cual acorta más el rango temporal.

Esta consideración hace pensar que el interés de la Corona hizo que constructores con un nivel de expertícia mediano llegaran a la región para consolidar estas estructuras y potenciar la infraestructura vial, con lo que las fundaciones de poblados en mismos rangos temporales o cercanos, pudo ser escenario para que el conocimiento se transfiriera a la mano de obra involucrada en la construcción del puente con lo que el conocimiento fue pasado desde épocas tempranas de la colonización.

III. Con la mano de obra en algún sentido capacitada desde unas nuevas lógicas constructivas traídas por los españoles, la limitante que se plantea tiene que ver con el tipo de materiales a usar y es en donde la guadua como material usado por las comunidades prehispánicas, se enmarca como una alternativa con características favorables, por lo cual se incorpora al repertorio de elementos constructivos usados ya por los colonizadores y es tenido en cuenta para proyectar otro tipo de estructuras como viviendas.

Al incorporar un nuevo elemento estructural, la lógica constructiva inicia un proceso de desarrollo técnico que se adapta de manera específica al contexto, llegando inclusive a dar respuesta a las determinantes sísmicas del territorio y hoy considerado como uno de los primeros sistemas constructivos desarrollados con este fin (Robledo y Flórez 2016), lo que sin duda es un escenario de interés que coloca en eje un material como detonador de un procesos tecnológico donde apenas en los últimos años se inicia su estudio de manera específica.

IV. Al tener como eje del proceso tecnológico un material, el medio del cual se podía extraer se hace determínate y en este punto el Figura 13 al identifica en los valles de los ríos con alturas entre los 800 y 1800 metros sobre el nivel del mar y afectados por sistemas volcánicos que dan atributos particulares a los suelos, abriendo el campo para hacer otras investigaciones respecto a la relación que tienen estos factores con las fundaciones de muchos de los centros poblados durante la colonización, ya que la facilidad de obtención de los recursos para la construcción es sin duda determinante en la lógica de los fundadores en función de optimizar los recursos y es donde el Mapa 8 permite visualizar que la

relación planteada no es casual y plantea la necesidad de profundizar en las consideraciones.

V. Si bien los aspectos constructivos de los dos puentes observados son de importancia según lo visto, suponen un manejo especial para no desvirtuar lo trabajado sobre el contexto en el presente artículo, lo cual será materia de otra investigación que busque describir desde los aspectos constructivos y técnicos particulares, los elementos encontrados, para seguir profundizando en la caracterización de las estructuras.

Notas

1. Gonzalo Fernández de Oviedo (1478–1557) fue uno de los primeros cronistas más importantes de la presencia española en las Américas. Nacido en Madrid de padres nobles de Asturias, a los 12 años se convirtió en paje del duque de Villahermosa. Fue testigo de la rendición de Granada y, en 1492, pasó a ser mozo de cámara del príncipe don Juan I; cuya muerte en 1497 cambió el rumbo de su vida. (Biblioteca Mundial Digital, n.d.)
2. Durante el siglo XIX las tierras colombianas atrajeron a una variedad de extranjeros ávidos de nuevos territorios, ecosistemas, geografías y culturas. Entre esos viajeros, recordamos aquellos que registraron lo que encontraron en textos y en imágenes. La mirada del país que nos brindan, cargada de exotismo, pero también de interés científico, de sensibilidad y de habilidad representativa, es una ventana singular a un mundo, y una manera de ver cómo se fue creando la imagen de estos territorios. Entre los autores disponibles están: Edouard Francois André, Charles Stuart Cochrane, William Eleroy Curtis, A. De Neuville, E. Riou, Charles Empson, Alexis (Conde) de Gabriac, H. Clerget, Joseph de Laporte, M. Parent, Gaspard Théodore (Conde) de Mollien, Michael Rafter, Armand Reclus, Charles Saffray, Alphons Stübel, Thérond, Thos. Oliver Selfridge. Entre ellos podemos encontrar también algunos colombianos que hicieron escuela en ese modo de recorrer y retratar el país como Santiago Cortés, Simón Camacho, Ramón Torres Méndez. (Banco de la Republica 2017a)

Lista de referencias

Bibliografía especifica

Añón, Valeria, Battcock. 2013. «Las Crónicas Coloniales Desde América: Aproximaciones y Nuevos Enfoques.» *Latinoamérica. Revista de Estudios Latinoamericanos* 57 (16658574). Centro de Investigaciones sobre América Latina y el Caribe, UNAM: 153–59. doi:10.1016/S1665-8574(13)71715-0.

Antón, Alberto Santacruz, and Beatriz Aracil Varón. 2015. «La Primera Imagen de América.» Univeisidad de Alicante.

Banco de la Republica. 2017a. «Galerías de Imágenes.» Accessed June 13. http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/colecciones-digitales/galerias-de-imagenes.

—2017b. «Imágenes de Viajeros.» Accessed June 13. http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/imagenes-viajeros.

Benedicto, D, and Cuervo Álvarez. 2016. «La Conquista y Colonización Española de América.» *Historia Digital Colabora Con La Fundación ARTHIS Historia Digital* 28.

Biblioteca Mundial Digital. n.d. «Gonzalo Fernández de Oviedo.»

Blouet, Guillaume Abel. 1860. *Traité Théorique et Pratique de l'art de bâTir de Jean Rondelet : Supplément*. http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6555321j/f8.image.

Bonnet Vélez, Diana. 2009. «Entre El Interés Personal y El Establecimiento Colonial . Factores de Confrontación y de Conflicto En El Nuevo Reino de Granada Entre.» *Historia Crítica* 5: 52–67. http://www.scielo.org.co/pdf/rhc/n39s1/n39Ea04.pdf.

Díaz, Jorge Galindo, Gilberto Flórez Restrepo, and Laura María Henao. 2013. «Puentes de Trapecio En La Región Del Viejo Caldas (Colombia): Un Legado de La Carpintería de Armar Europea En La Segunda Mitad Del Siglo XIX.» *Dearq*, 106–17.

Fernández de Oviedo, Gonzalo, and José Miranda. 1979. *Sumario de La Natural Historia de Las Indias*. *Biblioteca Americana*. Vol. 13. https://www.wdl.org/es/item/7331/.

Galindo, Jorge. 2003. *Colección de Autores Vallecaucanos*. Secretaría. Cali. http://www.bdigital.unal.edu.co/4811/27/cruzandoelcauca.pdf.

García Ángel, Antonio. 2013. *Cronistas de Indias: En La Nueva Granada (1536-1731)*. Edited by IDARTES. Antonio Ga. Bogota.

Gonzáles Ochoa, José M. 2012. «El Siglo De Oro y Las Cronicasa de Indias.» *Berceo* 163: 129–264.

Orche, E, and O Puche. 2000. «Los Asentamientos Mineros En La Minería Aurífera de Nueva Granada Durante La Época Colonial.» *Temas Geológicos-Mineros* 31: 415–22.

Salas, Eduardo. 2006. «La Guadua Angustifolia "El Bambú Colombiano".» *Actualidad y Futuro de La Arquitectura de Bambú En Colombia*, 81.

Sánchez Gama, Clara Eugenia. 2007. «La Arquitectura de Tierra En Colombia , Procesos y Culturas Constructivas.» *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural* 20 (2): 242–55.

Sandoval, Mary Luz. 2012. «Habitus Productivo y Minería: El Caso de Marmato, Caldas.» *Universitas Humanistica* 4807 (74): 145–72. http://www.scielo.org.co/pdf/unih/n74/n74a08.pdf.

Trabanino, Felipe, and Felipe Nuñez. 2014. «Guadua Como Elemento Mortuorio En Sepulturas Mayas.» *Boletín de*

Antropología Universidad de Antioquia 29 (48). La Universidad: 144–63. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55733909006.

Bibliografía general

Aprile, J. 1991. La Ciudad Colombiana. Bogotá: Banco Popular.

Boussingault, J. B. s.f.. Memorias. Obtenido de http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/memov1/indice.htm

Contraloria General de la República. 1937. Geografia Economica de Colombia. Bogotá: Imprenta Nacional.

Fonseca , L., & Saldarriaga, A. 2013. La Arquitectura de la vivienda rural en Colombia. Bogota.

Galindo, J., Flórez, G., & Henao, L. 2013. Puentes de trapecio en la región del Viejo Caldas (Colombia): un legado de la carpintería de armar europea en la segunda mitad del siglo XIX. Dearq, 106-117.

La Patria, Colprensa. 30 de Enero de 2017. Corte suspende títulos mineros en resguardos indígenas de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia. Obtenido de http://www.lapatria.com/economia/corte-suspende-titulos-mineros-en-resguardos-indigenas-de-caldas-345665

Muñoz Robledo, J. F. 2012. Sistemas Constructivos Arquitecturas de Baja Altura en Manizales. Manizales: Universidad Nacional.

Orche, E., & Puche, O. 2000. Los asentamientos mineros en la minería aurífera de Nueva Granada durante la época colonial. Temas Geológicos-Mineros, 31, 415-422.

Parsons, J. 1949. The Antioqueño Colonization in Western Colombia. Berkeley: Universidad de California.

Ramirez Bacca, R., & Londoño Uriza, E. 2013. Colonización, poblamiento y propiedad en el suroeste antioqueño. El caso del municipio de Jardín (Antioquia, Colombia), 1830-1931. ACHSC, 40, 77-114.

Restrepo, V. 1888. Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia. Bogotá: Imprenta de Silvestre. Obtenido de http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/minas/indice.htm

Robledo, J., & Flórez, G. 2016. La arquitectura campesina del bahareque en Caldas. Bogotá: El Ancora.

Saldarriaga Roa, A. 2016. Habitat y arquitectura en Colombia : modos de habitar desde el prehispánico hasta el siglo XIX. Bogota: U. Jorge Tadeo Lozano.

Sánchez Gama, C. E. 2007. La arquitectura de tierra en Colombia , procesos y culturas constructivas. Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural, 242-255.

Sanclemente Téllez, J. C. 2010. La Colonizacion Antioqueña, el emprendimiento y su aporte a la competitividad regional y nacional. Estudios Gerenciales, 26(114).

Senado de la Republica de Colombia. 1990. Antologia del Arte en el Viejo Caldas. Bogotá: Nomos.

Valencia Llano, A. 2013. Campesinos pobres y señores de la tierra. Migraciones hacia el sur de Antioquia 1800-1900. (6), 41-46.

Estudio tipológico y funcional de los elementos decorativos marmóreos recuperados durante las campañas de 2017 y 2018 en las termas públicas romanas de Valeria (Cuenca)

Javier Atienza Fuente

Desde el año 2014 se conoce la existencia de restos arqueológicos y arquitectónicos relacionados con un edificio termal, en el entorno del yacimiento arqueológico de la ciudad romana de Valeria.[1]

En el año 2017 se llevó a cabo un proyecto de Taller de Empleo cofinanciado por la junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y la EATIM de Valeria que tuvo como ámbito de actuación un área arqueológica cercana al yacimiento arqueológico de la ciudad hispanorromana de Valeria. La dirección científica de este proyecto corrió a cargo de los arqueólogos Santiago David Domínguez Solera y Míchel Muñoz García, los cuáles, ya habían llevado a cabo actuaciones en el área a intervenir en los años precedentes, exhumando parte de la estructura arquitectónica de una *natatio* o piscina cubierta correspondiente a un establecimiento termal. Esta última intervención tuvo una duración de seis meses y durante el transcurso de la misma se aumentó el área excavada en unos 200m^2, quedando completamente exhumada la estructura arquitectónica de la piscina, así como también gran parte de su área circundante. Igualmente, se realizó una zanja de sondeo de alrededor de 20 metros de longitud y 2 metros de anchura que, con un trazado ortogonal al eje central de la piscina y con dirección este/oeste buscaba determinar parte de las dimensiones del edificio termal tratando de localizar uno de los muros de cierre. En algunos puntos, la cota de altura en sección de esta zanja longitudinal de sondeo superaba los 3 metros. Como consecuencia de este trabajo fueron removidos y procesados cerca de 120m^3 de tierra, siendo recuperados alrededor de 1500 fragmentos marmóreos.

La intervención de 2018, también en el marco de un nuevo Taller de Empleo, tuvo una duración de seis meses y fue, en gran parte, una continuación de las actuaciones acometidas en la anterior campaña. Se despejaron buena parte de las estancias interiores y se intervino también en una amplia zona, al sur de la fachada principal, correspondiente a un área que se ha identificado como *palaestra* o espacio porticado destinado a la realización de actividades al aire libre (figura 1).

En cuanto a los materiales recuperados, esta campaña ha aportado alrededor de 3500 nuevos fragmentos marmóreos que, unidos a los recogidos en la campaña de 2017, hacen un total de cerca de 5000 fragmentos. Esta circunstancia convierte a la colección del complejo termal valeriense en una de las más importantes y numerosa de la provincia de Cuenca y en un referente en el estudio de la decoración marmórea aplicada a espacios termales de toda la Hispania romana.

Justificación del estudio

Del conjunto de materiales recogidos, los *marmora* ocupan un lugar preponderante no sólo por su volumen, sino también por la gran variedad tipológica, formal y funcional de los fragmentos recuperados.



Figura 1
Vista aérea del yacimiento termal a finales de la campaña de 218. Archivo propio

Por otro lado, las buenas condiciones de conservación de muchos de los materiales marmóreos recuperados, así como también de las estructuras arquitectónicas con las que se relacionan, sin reocupaciones ni refacciones posteriores a su momento de abandono, convierten el área de excavación en un enclave excepcional en la arqueología peninsular y subrayan la necesidad de llevar a cabo un estudio de este tipo para conocer el programa decorativo marmóreo del edificio y, posiblemente, poder restituir de manera integral el aspecto del complejo termal durante su época de uso.

Metodología

Uno de los objetivos principales de este estudio es la creación de una base de datos que recoja de manera íntegra todos y cada uno de los fragmentos marmóreos recuperados durante el proceso de excavación del complejo termal y de su área circundante, cuya información quede recogida en fichas individualizadas en las que se detallen todos los datos de interés. Todas y cada una de las fichas contiene un número de registro individual, independientemente del código correspondiente a la sigla arqueológica, así como la referencia de la Unidad Estratigráfica en la que ha aparecido.

Un primer aspecto que ha quedado recogido en la ficha es el tipo de elemento que está siendo analizado. Así, las piezas pueden corresponder a lastras de revestimiento (que a su vez pueden ser losas pavimentales, *crustae* parietales o, también, piezas correspondientes a diversas *opera sectilia*), cornisas, cenefas decorativas, elementos arquitectónicos (fundamentalmente basas, fustes o capiteles), fragmentos escultóricos, descartes de labra producidos durante el proceso de elaboración y, por último, otro tipo de fragmentos que debidos a su estado de conservación, tienen una difícil adscripción a una tipología determinada.

Otro dato que ha sido indicado es el relativo a sus dimensiones (largo, ancho y espesor). Estas dimensiones pueden indicar cantidades máximas conservadas (cuando el objeto analizado es un fragmento de una pieza originalmente mayor) o cantidades totales (cuando la pieza analizada conserva íntegra una o varias de sus dimensiones).

Se ha registrado a continuación el dato relativo a su tipología marmórea. En este primer momento tan sólo se han agrupado los elementos según sean de mármol blanco o de mármol polícromo, en concordancia con la mayoría de los estudios que sobre los mármoles de época romana se vienen realizando no sólo a nivel nacional sino, sobre todo, internacional.

La variedad marmórea específica viene detallada a continuación, atendiendo a una serie de especificidades como son la uniformidad del tono, la presencia de vetas o manchas en superficie, la disposición de las vetas, que pueden estar dispersas aleatoriamente o agrupadas conformando un patrón homogéneo, el tamaño de los cristales y granos, agrupados éstos en tamaños pequeño, mediano o grande, así como también se tiene en cuenta el grado de transparencia y refracción lumínica.

Todos estos datos analizados en conjunto nos ayudan a identificar el tipo de *marmor* y, en numerosos casos, sobre todos cuando se trata de mármoles polícromos, apuntar la procedencia e, incluso, las canteras de dónde fueron extraídos los bloques con los que se elaboraron las piezas.

La descripción topográfica detallada de la pieza es absolutamente fundamental ya que en esta fase quedan recogidas las características específicas de cada una de las piezas que pueden tener interés científico, incluso aquéllas que, a priori carezcan de una relevancia notable ya que pueden resultar interesantes a

la hora de manejar esta base de datos para realizar otro tipo de estudios sobre el material marmóreo.

La siguiente característica que debe ser registrada es la función que tuvo el elemento marmóreo en su ubicación original, generalmente decorativa, aunque es posible que, además de ésta, la pieza tuviese otras funciones no menos importantes como son la de soporte en el caso de cornisas y capiteles.

Seguidamente ha sido preciso anotar separadamente aquellas otras características específicas de la pieza que le otorgan unas cualidades únicas tales cómo trazos, huecos, agujeros o marcas varias que, si bien muchas de las piezas analizadas no poseen, cuando aparecen, arrojan una información muy valiosa acerca del proceso de elaboración montaje y fijación de las mismas.

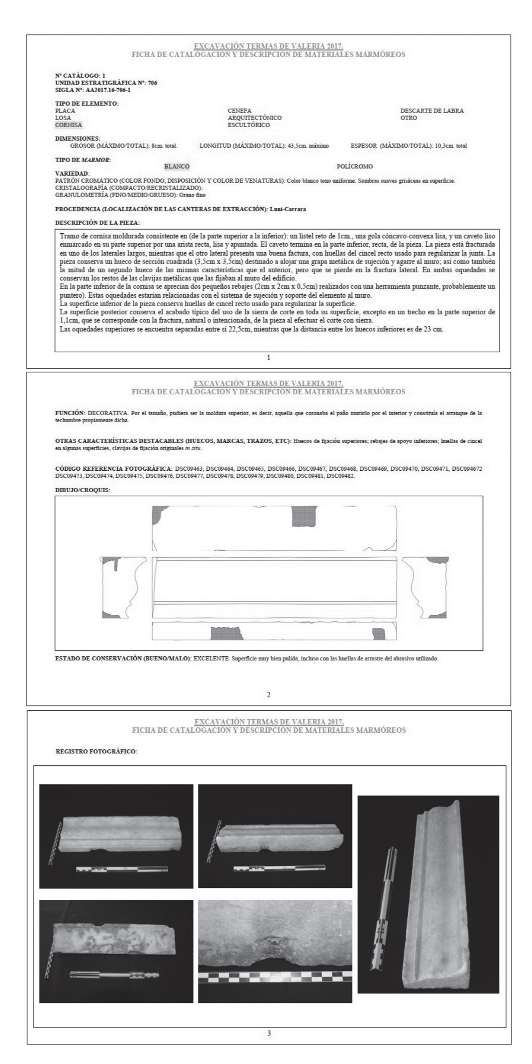
Para las piezas o elementos que presenten unas características específicas (cornisas, presencia de decoración moldurada, agujeros, trazos incisos u otras marcas) se han elaborado tantos croquis o dibujos como han sido necesarios para reflejar el aspecto general de la pieza analizada así como las especificidades que ésta presenta.

Finalmente se ha realizado un registro fotográfico completo de cada una de las piezas y anotado en la misma ficha las referencias de los archivos fotográficos que corresponden a cada una de las piezas (figura 2).

El análisis de las características macroscópicas de las piezas marmóreas se ha realizado fundamentalmente *de visu*, es decir, atendiendo a las características de cada uno de los elementos que eran observables a simple vista. No obstante, en los casos en los que era necesario acceder a un grado mayor de detalle se han utilizado lentes de 6 a 10 aumentos tanto en formato de lupa como de cuentahílos, sobre todo para discriminar el tamaño de grano o cristal de una determinada variedad marmórea.

En algunos casos, cuando la inspección visual y el visionado a través de lentes de aumento no han sido suficientes para señalar la adscripción de una pieza a una variedad marmórea determinada, se ha utilizado la observación del grado de traslucidez mediante la aplicación directa de una fuente luminosa sobre su superficie (Lapuente y Álvarez 2013, 76-77).

Por último, es conveniente señalar que, en el caso de algunas de las variedades marmóreas blancas, la inspección visual y el análisis de las características macroscópicas no basta para adscribirlas de forma certera a una determinada tipología. En estos casos sería necesaria la realización de análisis específicos de muestras en un laboratorio.


EXCAVACIÓN TERMAS DE VALERIA 2017.
FICHA DE CATALOGACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE MATERIALES MARMÓREOS

Nº CATÁLOGO: 1
UNIDAD ESTRATIGRÁFICA Nº: 706
SIGLA Nº: AA2017.16-706-1

TIPO DE ELEMENTO:

PLACA	CENEFA	DESCARTE DE LABRA
LOSA	ARQUITECTÓNICO	OTRO
CORNISA	ESCULTÓRICO	

DIMENSIONES:
GROSOR (MÁXIMO/TOTAL): 8cm. total. LONGITUD (MÁXIMO/TOTAL): 43,5cm. máximo ESPESOR (MÁXIMO/TOTAL): 10,3cm. total

TIPO DE *MARMOR*:
BLANCO POLÍCROMO

VARIEDAD:
PATRÓN CROMÁTICO (COLOR FONDO, DISPOSICIÓN Y COLOR DE VENATURAS): Color blanco tono uniforme. Sombras suaves grisáceas en superficie.
CRISTALOGRAFÍA (COMPACTO/RECRISTALIZADO):
GRANULOMETRÍA (FINO/MEDIO/GRUESO): Grano fino

PROCEDENCIA (LOCALIZACIÓN DE LAS CANTERAS DE EXTRACCIÓN): Luni-Carrara

DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA:

Tramo de cornisa moldurada consistente en (de la parte superior a la inferior): un listel reto de 1cm., una gola cóncavo-convexa lisa, y un caveto liso enmarcado en su parte superior por una arista recta, lisa y apuntada. El caveto termina en la parte inferior, recta, de la pieza. La pieza está fracturada en uno de los laterales largos, mientras que el otro lateral presenta una buena factura, con huellas del cincel recto usado para regularizar la junta. La pieza conserva un hueco de sección cuadrada (3,5cm x 3,5cm) destinado a alojar una grapa metálica de sujeción y agarre al muro; así como también la mitad de un segundo hueco de las mismas características que el anterior, pero que se pierde en la fractura lateral. En ambas oquedades se conservan los restos de las clavijas metálicas que las fijaban al muro del edificio.
En la parte inferior de la cornisa se aprecian dos pequeños rebajes (2cm x 2cm x 0,5cm) realizados con una herramienta punzante, probablemente un puntero). Estas oquedades estarían relacionadas con el sistema de sujeción y soporte del elemento al muro.
La superficie inferior de la pieza conserva huellas de cincel recto usado para regularizar la superficie.
La superficie posterior conserva el acabado típico del uso de la sierra de corte en toda su superficie, excepto en un trecho en la parte superior de 1,1cm, que se corresponde con la fractura, natural o intencionada, de la pieza al efectuar el corte con sierra.
Las oquedades superiores se encuentra separadas entre sí 22,5cm, mientras que la distancia entre los huecos inferiores es de 23 cm.

1

EXCAVACIÓN TERMAS DE VALERIA 2017.
FICHA DE CATALOGACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE MATERIALES MARMÓREOS

FUNCIÓN: DECORATIVA. Por el tamaño, pudiera ser la moldura superior, es decir, aquella que coronaba el paño murarlo por el interior y constituía el arranque de la techumbre propiamente dicha.

OTRAS CARACTERÍSTICAS DESTACABLES (HUECOS, MARCAS, TRAZOS, ETC): Huecos de fijación superiores; rebajes de apoyo inferiores; huellas de cincel en algunas superficies, clavijas de fijación originales *in situ*.

CÓDIGO REFERENCIA FOTOGRÁFICA: DSC09463, DSC09464, DSC09465, DSC09466, DSC09467, DSC09468, DSC09469, DSC09470, DSC09471, DSC094672 DSC09473, DSC09474, DSC09475, DSC09476, DSC09477, DSC09478, DSC09479, DSC09480, DSC09481, DSC09482.

DIBUJO/CROQUIS:

ESTADO DE CONSERVACIÓN (BUENO/MALO): EXCELENTE. Superficie muy bien pulida, incluso con las huellas de arrastre del abrasivo utilizado.

2

EXCAVACIÓN TERMAS DE VALERIA 2017.
FICHA DE CATALOGACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE MATERIALES MARMÓREOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO:

3

Figura 2
Ejemplo de ficha de registro elaborada a propósito para la realización del estudio. Archivo propio

Dimensiones del estudio

A la hora de plantear la realización del presente estudio y, por lo tanto, la confección específica de las fichas de recogida de datos descritas en los párrafos

anteriores, se ha buscado que éstas reflejen la información más relevante respecto a cuatro ámbitos o dimensiones diferentes pero, al mismo tiempo, interrelacionadas entre sí. Estas dimensiones son: dimensión cualitativa, dimensión cuantitativa, dimensión funcional y dimensión ejecutiva. Si bien cada una de estas dimensiones recoge un tipo de información específica que puede ser entendida y analizada de forma individualizada, es la información conjunta de todas ellas la que ofrece un panorama completo del proceso de marmorización espacial y decorativa de un edificio termal de carácter público en un momento determinado de época altoimperial, en concordancia con lo que sucede en otros lugares del Imperio romano.

En el momento de escribir estas líneas se llevan estudiados un total de 4000 fragmentos. A lo largo del presente trabajo, se tratarán las dimensiones cualitativa y funcional de los elementos marmóreos analizados hasta el momento.

Dimensión cualitativa

Trata fundamentalmente de determinar la calidad y la procedencia de las distintas tipologías de los *marmora* utilizados en el complejo termal de *Valeria*.

Hasta el momento, se han identificado 15 tipologías marmóreas diferentes. Entre los *marmora* polícromos encontramos[2]:

1. *Marmor Saetabitanum,* de origen hispano, extraído de unas canteras próximas a la antigua ciudad de *Saetabis*. De esta tipología se han identificado tres variedades: blanco, rosado y crema/marfil.
2. *Marmor Taenarium* (Rosso Antico), de origen griego, extraído de las canteras del cabo Matapán, en el Peoloponeso. De esta tipología se han identificado dos variedades: rojo uniforme y rojo con vetas blanco-grisáceas.
3. *Marmor Thessalicum* (Verde Antico), de origen griego, extraído de las canteras de Larisa. De esta tipología se han identificado dos variedades: fondo verde claro y fondo verde, dependiendo de la tonalidad de la matriz aglutinante.
4. *Marmor Scyrium* o *Scyreticum* (Brecha de Skyros o de Settebassi), de origen griego, extraído de las canteras de la isla homónima.
5. *Marmor Sagarium* (Brecha coralina). De origen minorasiatico.
6. *Marmor Synnadicum* (Pavonazzetto). De origen minorasiático.
7. Caliza de Alconera. De origen lusitano. Presenta una superficie de tonalidad encarnada o morada muy homogénea. En ocasiones aparecen algunas intrusiones blanquecinas.

   Entre los mármoles blancos, de difícil adscripción tipológica debido a la similitud con otras variedades marmóreas, encontramos:
8. Estremoz 1. De origen lusitano. Mármol blanco, de cristal medio/grueso con vetas finas y alargadas que se disponen de forma longitudinal dándole a la superficie un aspecto bandeado.
9. Estremoz 2. De origen lusitano. Mármol blanco, de cristal medio/grueso con vetas irregulares my abigarradas entre sí que dan a la superficie un aspecto grisáceo oscuro.
10. Estremoz 3. De origen lusitano. Mármol blanco, de cristal medio/grueso con vetas finas oscuras que se disponen a lo largo de toda la superficie formando composiciones reticulares, a veces de forma ortogonal.
11. *Marmor Lunensis*. De origen itálico. Se trata de un mármol de grano fino con la superficie de una tonalidad blanca homogénea, aunque a veces se aprecian algunas manchas grisáceas muy tenues.
12. *Grecco Scritto*. De origen norteafricano. Extraído de las canteras argelinas de Cap du Garde. De grano fino, su superficie presenta una tonalidad blanca con manchas oscuras pequeñas y aisladas repartidas por la superficie.
13. *Marmor Proconnesium*. De origen minorasiático. Mármol blanco de cristal grueso y tono uniforme con algunas vetas muy tenues aisladas y una alta traslucidez.

   El conjunto de *marmora* utilizados en el complejo termal de *Valeria* con fines decorativos y arquitectónicos comprende también algunos tipos de roca de origen local o, al menos territorial, como son:
14. Caliza local, con tonalidades que van del blanco uniforme al ocre-amarillento. Extraída de las canteras que circundan el afloramiento rocoso sobre el que se asienta el yacimiento.
15. Arenisca, siempre de una tonalidad uniforme amarillenta, de grano fino y muy fino. Se des-

conoce el lugar exacto de extracción, pero es altamente probable que las canteras de este material se encontrasen dentro del *territorium* de *Valeria*.

Dimensión funcional

Trata fundamentalmente de determinar la función que cada uno de los elementos marmóreos recuperados desempeñaba en el conjunto arquitectónico y decorativo del espacio termal de *Valeria*.

Los elementos recuperados durante la intervención en el edificio termal de *Valeria* pueden agruparse en cuatro grandes grupos: piezas de revestimiento, elementos arquitectónicos, elementos escultóricos y otros elementos.

A) Piezas de Revestimiento

Lastras o *crustae* de revestimiento parietal. Se trata de piezas de dimensiones muy diversas, cortadas en forma de tablas, y un espesor que, aunque variable, en un edificio de estas características suele estar comprendido entre 0,8 y 3,5 centímetros, siendo excepcionales los casos en los que se sobrepasa la dimensión máxima indicada. En la gran mayoría de los fragmentos de este tipo analizados, la cara frontal se presenta claramente pulida, mientras que la cara posterior puede presentar un acabado pulido, o tan sólo desbastado, o incluso con las huellas dejadas por el efecto del corte de sierra que las separó del bloque matriz. En cuanto a las caras perimetrales, cuando éstas se conservan incluso parcialmente, en la mayoría de los casos se presentan biseladas para reducir la superficie de contacto con las piezas adyacentes y facilitar así su montaje. No faltan algunos ejemplos de *crustae* que carecen de bisel en sus caras perimetrales, si bien son minoría en el conjunto analizado. Son numerosos los agujeros de trépano que se han conservado en este tipo de elementos, casi siempre practicados en las caras perimetrales.

Se puede hacer una clara distinción entre las piezas que presentan decoración y las que carecen de la misma:

- Elementos sin decoración moldurada en su superficie. No presentan ningún tipo de decoración en ninguna de sus superficies. Excepto en el grosor, son en todo semejantes a las losas de revestimiento pavimental. A este grupo corresponden la mayoría de los fragmentos de lastras de revestimiento parietal que son objeto de este estudio. El *marmor Saetabitanum* es la tipología marmórea que más se repite en este tipo de fragmentos, aunque hay que subrayar que las variedades marmóreas de origen griego *Thessalicum*, *Scyrium* y *Sagarium* sólo aparecen asociadas a este tipo de piezas.
- Elementos con decoración moldurada en su superficie. Alrededor de un tercio de las lastras de revestimiento parietal analizadas presentan algún tipo de decoración moldurada en su superficie. La decoración es muy variada, repitiéndose en numerosas ocasiones la combinación de bandas lisas y rectas enmarcadas por incisiones de sección en V, de anchura variable, combinadas con molduras compuestas cóncavo-convexas que pueden seguir un trazado rectilíneo y, en algunos ejemplos, curvilíneo. Un número más reducido de piezas presenta una combinación de ranuras o rebajes de paredes y fondo rectos alternadas con listeles o filetes rectos y lisos. De nuevo el *marmor Saetabitanum* aparece como el más numeroso en este tipo de elementos, aunque también lo encontramos en algunas variedades blancas y también en mármol gris (figura 3).

Losas de revestimiento pavimental. Se trata de piezas de dimensiones muy diversas, cortadas en forma de tablas, y un espesor que, aunque variable, suele estar comprendido entre 3,5 y 5 centímetros. Las piezas que se han identificado como pavimentales presentan un marcado bisel en las caras perimetrales, la cara superior pulida y, por regla general, la cara inferior tan sólo desbastada o regularizada. Aunque una amplia mayoría de los fragmentos identificados como losas pavimentales son de mármol blanco, también se han documentado fragmentos de losas elaboradas en *marmor Saetabitanum*.

Cornisas decorativas. Se incluye en este apartado un grupo numeroso de elementos moldurados, de pequeño formato, sin función estructural, sino puramente decorativa. Se encajaban en el muro siguiendo una disposición horizontal y servían para delimitar áreas, a modo de frisos o zócalos.

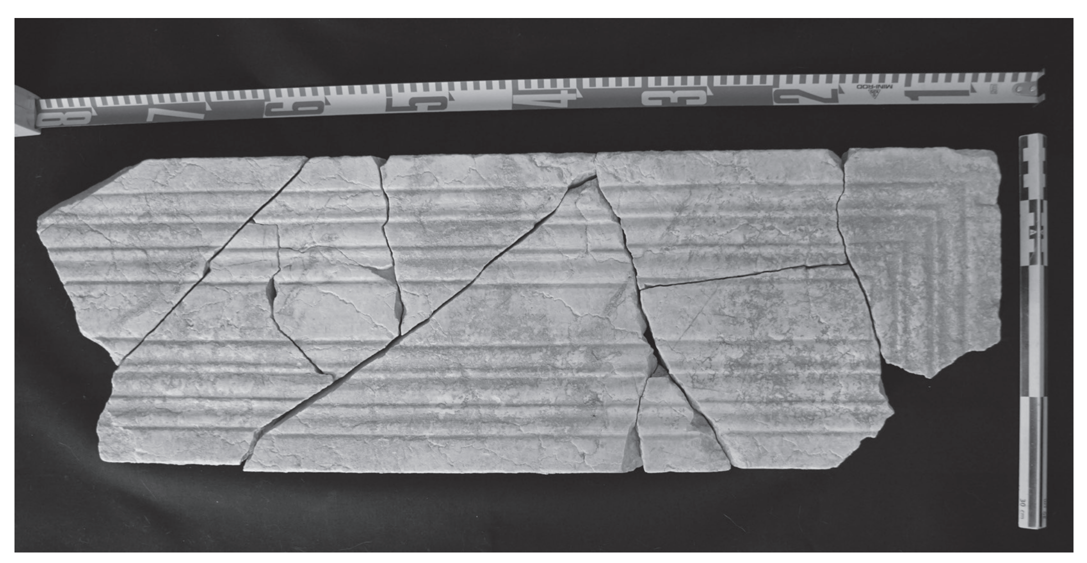


Figura 3
Ejemplo de lastra de revestimiento parietal con molduración labrada en su superficie. El ejemplar ha sido reconstruido a partir de varios fragmentos recuperados en la campaña de 2018. Archivo propio

Estos elementos están elaborados en mármoles de tonalidades blancas y en *marmor Taenarium*. Esta última variedad sólo aparece, en todo el conjunto de fragmentos analizados, asociada a este tipo de elementos decorativos. Todas ellas presentan un formato similar, con una altura comprendida entre los 3,2 y los 3,5 centímetros y una decoración moldurada en su cara frontal que repite el mismo esquema en todos los elementos: un cuarto de bocel en la parte superior, una moldura compuesta cóncavo-convexa en la parte frontal y un estrecho listel liso en la parte inferior. Las caras frontales de estos elementos presentan siempre un aspecto pulido. Las caras posteriores, que quedaban ocultas a la vista, pueden presentar aspecto pulido o bien conservar huellas de serrado e incluso la rotura distal típica del uso de este tipo de herramienta. Las juntas laterales, cuando se han conservado íntegramente, presentan un aspecto cuidado, sin bisel aparente, apreciándose en algunos casos huellas de cincel. Son numerosos los agujeros de trépano que se han conservado en este tipo de elementos, siempre practicados en las caras superiores.

Cenefas decorativas. En este estudio se denominarán como cenefas unas piezas paralelepipédicas, de escaso grosor y más largas que anchas. Estas piezas se encajan en el muro de tal manera que dejan a la vista una de las caras longitudinales perimetrales estrechas. Esta cara visible ha sido moldurada previamente con forma de baquetón. La restante cara longitudinal, que queda oculta en el núcleo del soporte arquitectónico, no ha sido trabajada previamente y presenta un aspecto rugoso. En cuanto a las superficies superior e inferior de estas piezas, pueden aparecer indistintamente con un acabado pulido o conservando las huellas del corte con sierra. Las caras laterales suelen estar perfectamente pulidas y, en ocasiones, ligeramente biseladas. Por lo que se refiere al grosor, éste varía entre los 0,8 centímetros de los ejemplares más estrechos hasta los 2,2 centímetros en las piezas mayores.

Estas cenefas se disponían en el muro de forma consecutiva y siguiendo siempre un mismo nivel horizontal, formando una banda que recorre la pared a una determinada altura. Se colocaba de tal manera que sobresalía brevemente respecto al lienzo de la pared que quedaba en la parte inferior.

Respecto a las tipologías marmóreas en las que estos elementos están elaborados, se han identificado en *marmor Saetabitanum*, en todas las variedades de mármol blanco y algunos ejemplares en mármol grisáceo.

Listeles o fajas. Piezas paralelepipédicas, generalmente de poca anchura, que se suele colocar tanto en los pavimentos como en los revestimientos parietales para componer diseños decorativos listados por contraste cromático. Los listeles identificados entre las piezas recuperadas en el complejo termal de Valeria son aproximadamente una decena y están elaborados tanto en variedades marmóreas de tonalidades cromáticas claras, como en variedades más oscuras. Los grosores de estas piezas son muy variables, quedando comprendidos desde 1 centímetro en el caso de los ejemplos más reducidos, hasta los 2,5 centímetros de los elementos más grandes. Esta diferencia tan acusada de grosores en unas piezas que realizan la misma función hay que explicarla por medio de la situación que éstas ocupaban en el conjunto de la decoración: los listeles pavimentales se realizan con un grosor mucho mayor que los listeles parietales, al igual que ocurre con las losas y las lastras de revestimiento.

Estas piezas presentan la cara frontal siempre pulida. Las caras perimetrales suelen estar también pulidas o, al menos, regularizadas y, en muchos casos, no presentan un bisel apreciable. Respecto a la cara que quedaba oculta una vez puesta en obra, ésta puede aparecer perfectamente pulida, con huellas de sierra de corte y también con un aspecto desbastado y poco cuidado.

Lesenas. Se trata de un elemento decorativo en forma de banda vertical que se coloca en relieve respecto al resto del paramento de la pared. Tiene el aspecto de una pilastra, pero no tiene una función estructural ya que no soporta cargas. Como las pilastras, suele disponer de basa, fuste y capitel. Entre las piezas analizadas del complejo termal de Valeria sólo se han recogido fragmentos inequívocos de fustes y, con más reservas, algunos fragmentos que parecen corresponder a un mismo capitel.

—Capitel. Se trata de dos fragmentos coincidentes entre sí, elaborados en *marmor Saetabitanum*, de variedad rosada, que presentan restos de decoración en relieve en su superficie. Esta decoración consiste en motivos vegetales que parecen representar el tallo central y parte de los lóbulos de una hoja acantiforme. Ambos fragmentos conservan un acabado pulido impecable en su cara frontal, mientras que en la cara posterior se conservan huellas de corte con sierra.

—Fustes. Se conservan al menos un centenar de fragmentos de este tipo. Están elaborados en mármoles de tonalidades blancas y también en mármoles grises. Todos ellos presentan acanaladuras de sección curva intercaladas con listeles lisos. La anchura de las acanaladuras se sitúa en todos los casos entre los 2,2 y los 2,7 centímetros de anchura y entre 0,5 y 0,7 centímetros de profundidad, mientras que los listeles de separación presentan anchuras de entre 1,2 y 1,5 centímetros de anchura. En todos los fragmentos, la cara frontal aparece con aspecto pulido. Las caras posteriores presentan en ocasiones un acabado pulido, mientras que en otros casos conservan huellas de corte con sierra (figura 4).

B) Elementos arquitectónicos

Durante el proceso de excavación arqueológica en el enclave del complejo termal de valeriense se recuperaron varios elementos marmóreos correspondientes a elementos arquitectónicos de entidad relevante ta-



Figura 4
Fragmento de fuste de lesena acanalada que conserva su anchura totoal. Archivo propio

les como un fragmento de capitel, un fragmento de basa y varios ejemplares de cornisas.

1. Capitel. El fragmento correspondiente al capitel coincide con una hoja de acanto, probablemente perteneciente a la corona inferior de un capitel corintio o compuesto. Está elaborado en mármol blanco.
2. Basa. Se trata de un fragmento de basa, probablemente ática, elaborada en piedra caliza local extraída de las canteras cercanas al yacimiento. Conserva parte del toro inferior y parte del inicio del listel circular que lo delimitaba por su parte superior.
3. Cornisas. Se incluyen en este grupo una serie de cornisas de formato medio y grande de las que, si bien su carácter eminentemente decorativo está fuera de toda duda, su función estructural no está completamente dilucidada.

De formato medio se conservan alrededor de una veintena de fragmentos de cornisa, elaborados en *marmor Saetabitanum*. Presenta una altura comprendida entre 5,5 y 6,5 centímetros. La cara frontal, de aspecto pulido, presentan una decoración moldurada cuyo desarrollo desde la parte superior a la inferior es en todos los casos el siguiente: un cuarto de bocel liso, que enmarca una gola lisa cóncavo-convexa, la cual finaliza en la parte inferior con el nacimiento de un caveto liso.

De formato grande se han recuperado una decena de ejemplares, si bien en diverso estado de conservación. Ocho corresponden a cornisas que contenían el mismo diseño moldurado. Éstas están elaboradas en el mismo tipo de mármol de tonalidad blanca y presentan una muy buena factura. La cara frontal, perfectamente pulida, presenta una decoración moldurada que, desde la parte superior a la inferior, se desarrolla de la forma siguiente: un listel reto de 1cm., una gola cóncavo-convexa lisa, y un caveto liso enmarcado en su parte superior por una arista recta, lisa y apuntada. El caveto termina en la parte inferior, recta, de la pieza.

De formato grande también se ha recuperado un fragmento de cornisa elaborado en *marmor Saetabitanum* que presenta un esquema decorativo diferente al descrito en las cornisas de gran formato anteriores. Tanto la cara posterior como la frontal presentan un aspecto pulido. La cara frontal conserva restos de la decoración moldurada que, desde la parte superior a la inferior, consiste en: un listel liso y recto, una gola cóncavo-convexa y un caveto.




Figura 5
Imagen del torso marmóreo femenino recuperado en la campaña de 2018. Archivo propio

C) Elementos escultóricos

Durante la campaña de 2018 se han recuperado algunos fragmentos inequívocamente pertenecientes a varias esculturas. Todos ellos están elaborados en mármoles de tonalidad blanca homogénea. Se trata de un dedo de una mano, extendido, de tamaño algo mayor del natural; parte del brazo/codo/antebrazo de una escultura de tamaño menor del natural, una pieza troncocónica, perfectamente pulida, que pudo ser parte del testigo marmóreo de sujeción de una escultura de grandes dimensiones; un torso femenino, de tamaño menor del natural, seccionado a la altura de los hombros y del vientre (figura 5)

D) Otros elementos

De la totalidad de elementos analizados existen dos grupos que, por sus peculiares características se incluyen en un apartado diferente.

1. *Opera Sectilia*. Se trata de un grupo de 15 elementos elaborados en piedra arenisca de color claro y grano fino y uniforme. Sus superficies están íntegramente trabajadas y presentan en su mayoría un aspecto pulido y cuidado. Varios ejemplares tienen forma triangular y algunas de sus aristas redondeadas, mientras que otros presentan una forma trapezoidal. La mayoría de los elementos analizados se encontraron en la misma Unidad Estratigráfica, agrupados, junto con la mayoría de los descartes de labra, aunque a diferencia de estos últimos, aquéllos presentan una factura intencionada.
2. *Descartes de labra*. El conjunto está compuesto por alrededor de un millar de elementos, de diferentes formas y tamaños, en el cual están representadas la mayoría de las tipologías marmóreas más numerosas identificadas en este estudio. Llama la atención la total ausencia del *marmor Taenarium* en este grupo de fragmentos. Esta circunstancia podría explicarse bien porque las cornisas de pequeño formato realizadas en este tipo de mármol ya viniesen elaboradas desde la cantera de origen por un taller especializado en la producción de este tipo de elementos (Bruno 2002, 182-188; Pensabene 2013, 585-591; Atienza 2017, 538-546), o bien porque fuesen labradas por un taller local en un sitio distinto del lugar donde finalmente se pusieron en obra.



Figura 6
Vista de uno de los conjuntos de descartes de labra recuperados en la campaña de 2018. Archivo propio

La mayor parte de estos descartes de labra se encontraron en una misma Unidad Estratigráfica, lo que podría indicar que muchos de los elementos marmóreos fueron elaborados o, al menos, retocados *in situ* (figura 6).

Conclusiones

Respecto al programa decorativo marmóreo de los ambientes termales en los que se ha intervenido da la impresión de que las paredes estaban divididas en, al menos, tres paneles o frisos horizontales que vienen delimitados y diferenciados a través de cenefas y/o también de cornisas. Estas cornisas van aumentando de tamaño y de formato a medida que son colocadas a una altura superior, de tal manera que las cornisas menores ocuparían un emplazamiento inferior en el lienzo murario; las cornisas de un formato medio ocuparían un lugar intermedio en la altura del lienzo murario; y finalmente las cornisas de mayores dimensiones se situarían en una cota alta respecto al lienzo murario, quizás actuando como elemento de transición entre la pared y la cubierta.

Las huellas de corte con sierra dejadas sobre la superficie de algunos de los *marmora* identificados en

este estudio (*Taenarium*, *Thessalicum* y *Scyrium*), muestran una regularidad de los surcos a lo largo de todo el corte, que es muy difícil de lograr si la operación se realiza con medios estrictamente manuales. No se puede, por lo tanto, descartar la posibilidad de utilización de artefactos mecánicos en la preparación y realización de algunos de los elementos elaborados en variedades marmóreas importadas (Atienza 2015, 161-164). Más difícil es determinar si la utilización de esta maquinaria se produjo en un primer momento sobre el material extraído en las canteras de origen o posteriormente por parte de una *officina* temporal e itinerante instalada a pie de obra.

A propósito del origen griego de algunos mármoles decorativos usados en el complejo termal valeriense, conviene hacer algunas indicaciones acerca de su explotación y comercialización en el ámbito provincial hispano. Las canteras de *marmor Thessalicum* y *marmor Scyrium* estaban probablemente bajo la administración directa del poder imperial y, por lo tanto, sujetas a un estricto control tanto en lo que se refiere a su explotación y gestión, como a la producción y comercialización de sus productos (Pensabene 2013, 302-304). A la vista de estas circunstancias cabe preguntarse si la presencia de estos materiales en *Valeria* pudiera deberse a una concesión directa de explotación por parte del emperador en el marco de un vasto programa de promoción y patrocinio municipal por parte del círculo más próximo de poder imperial que tiene lugar en torno al último tercio del siglo I a.C. y que alcanza a numerosas ciudades de Hispania, como es el caso de la cercana Segobriga (Abascal 2006, 76-77), o bien la explicación venga dada por un acto de evergetismo privado por parte de un personaje de alto rango bien relacionado con el poder central. En cualquier caso, la presencia de este tipo de materiales marmóreos de importación debe ser considerada provisionalmente como excepcional a falta de un estudio más a fondo de los materiales marmóreos recuperados en otras zonas de la ciudad de *Valeria* con los que se pueda establecer una relación comparativa.

Por lo que respecta a la calidad de las manufacturas, es preciso señalar que, sobre todo en el caso de las cornisas decorativas de pequeño formato, se aprecian claramente dos acabados muy diferentes para un mismo tipo de producto: mientras que algunas de las cornisas decorativas conservadas presentan un perfilado impecable y un acabado perfecto en todos sus detalles, en otros casos (ciertamente, los menos), las molduras están tan sólo esbozadas o, incluso, sin terminar, como lo prueba el hecho de que conserven partes del chaflán tangente a la superficie moldurada, que se suele realizar previamente al comienzo de la labra y que desaparece completamente cuando ésta ha finalizado.

El *marmor Saetabitanum* encontró su plena implantación en algunos enclaves del interior del *Conventus Carthaginensis* a partir de época flavia, como sucede en *Segobriga*, donde lo encontramos utilizado masivamente en el programa decorativo de los pórticos del *forum* (Cebrián 2012, 162-164). De la misma manera, los mármoles *Taenarium*, *Thessalicum*, *Scyrium* y, probablemente también el *marmor Sagarium* y el *Synnadicum* llegan a los puertos de *Hispania* a partir de época flavia e, incluso adrianea, para estas dos últimas variedades (Pensabene 2013, 292-311). Por lo tanto, las variedades marmóreas citadas anteriormente no pudieron estar presentes en la primera fase del edificio termal, fechada en los inicios de la época julio-claudia, contemporáneamente a los trabajos de monumentalización del foro urbano, sino que fueron añadidas en una segunda fase de embellecimiento del edificio. No sucede lo mismo con los mármoles blancos tanto los de procedencia lusitana como los de otras procedencias como el blanco de *Luni* y el *Proconnesium*, cuya explotación a gran escala se ha documentado ya en época republicana y también en torno al cambio de era. Esta circunstancia coincide muy bien con los resultados obtenidos en la excavación del complejo termal, donde las estructuras pertenecientes a la primera fase de uso están siempre relacionadas con mármoles blancos, ya sea en el muro de cierre oriental, donde se documentan *in situ* algunas lastras de revestimiento parietal o en uno de los flancos longitudinales de la *natatio*, donde se conserva un fragmento de lastra *in situ* también de mármol blanco (probablemente de *Luni*). También son de mármol blanco (posiblemente *Proconnesium*, por la tonalidad cerúlea y los cristales de grandes dimensiones) muchas de las losas de pavimento originales conservadas en el ambiente interno inferior, el más cercano a la piscina.

Notas

1. El autor de este estudio es doctorando en la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona. Realiza un proyecto de tesis doctoral que lleva por título «La decoración de

las termas públicas de Valeria: estudio cuantitativo, tipológico y funcional de sus elementos marmóreos».

2. En cursiva, el nombre latino de la tipología marmórea tal como era conocido y citado en época romana; entre paréntesis, el nombre que es comúnmente aceptado y empleado en la terminología científica.
3. Aunque no son objeto de este estudio, es necesario referirse a la reutilización de material marmóreo en el complejo termal valeriense en el caso de algunos fragmentos de fustes acanalados de lesenas, elaborados en mármol grisáceo, que fueron colocadas como elementos de regularización y apoyo para las losas del pavimento del flanco oriental de la *natatio*.

Lista de referencias

Abascal, Juan Manuel. 2006. Los tres viajes de Augusto a Hispania y su relación con la promoción jurídica de ciudades. En *Iberia*. *Revista de la Antigüedad*, 6: 63-78.

Atienza, Javier. 2015. MACHINAE: el uso de ingenios mecánicos aplicados a la actividad constructiva en época romana. En *Actas del IX Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Historia de la Construcción*, 157-166. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Instituto Juan de Herrera.

Atienza, Javier. 2017. Las canteras de piedra local de las ciudades hispanorromanas de Valeria y Segobriga en Cuenca: una aproximación a su estudio. En *Antigüedad in progress… Actas del I Congreso Internacional de Jóvenes Investigadores del Mundo Antiguo*, 535-559. Editado por Conesa, P.; Martínez, J. J.; Sánchez, C.; Molina, C. y García, L. Murcia: Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Atienza, Javier. 2010. Cantería y construcción pétrea en época romana. Una aproximación al estudio del trabajo de la piedra en la ciudad de Segobriga. En *Studia Academica*, 16: 11-71. Cuenca: Centro Asociado UNED.

Bruno, Matthias. 2002. Considerazioni sulle cave, sui metodi di estrazione, di lavorazione e sui trasporti. En *I marmi colorati della Roma imeriale*, 179-193. Editado por De Nuccio, M. y Ungaro, L. Venecia: Editorial Marsilio.

Cebrián, Rosario. 2012. Mármoles coloreados de producción hispánica utilizados en la decoración arquitectónica de edificios públicos en Segobriga (Saelices, Cuenca). En *La ciudad romana en Castilla-La Mancha*, 371-396. Editado por Carrasco, G. Toledo: Universidad de Castilla-La Mancha.

Cebrián, Rosario. 2012. Las canteras de Buixcarró y el uso del marmor Saetabitanum. En *El marmor en Hispania. Explotación, uso y difusión en época romana*, 155-168. Editado por García-Entero, V. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Lapuente, Pilar y Álvarez, Aureli. 2013. Métodos para la identificación de los mármoles. En *El marmor en Hispania. Explotación, uso y difusión en época romana*, 73-90. Editado por García-Entero, V. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Monna, D.; Pensabene, P. Y Sodini, J. P. 1993. L'identification des marbres: sa nécessité, ses méthodes, ses limites. En *Marmi Antichi. Problemi d'impiego, di restauro e d'identificazione*, 15-34. Editado por Pensabene, P. Roma: Editorial L'Erma di Bretschneider.

Pensabene, Patrizio. 2013. *I marmi nella Roma antica*. Roma: Editorial Carocci.

Russell, Ben. 2013. *The Economics of the Roman Stone Trade*. Oxford: Oxford University Press.

Armaduras cuadradas y ochavadas en Galicia. Análisis histórico-constructivo.

José Carlos Barreiro Roca

En Galicia, como en el resto de la península, históricamente la carpintería de armar fundamentada en pares de madera ha ocupado un lugar preeminente a la hora de cubrir edificios. Tal es su importancia que se acaban especializando para cubrir naves, cruceros y cabeceras de iglesias, donde muchas veces la estructura de cubierta ha de quedar a la vista. De entre todas las tipologías de armaduras de pares, de las que más destacan, tanto por su interesante configuración, su belleza y su sofisticado proceso constructivo, son las armaduras de pares cuadradas y ochavadas. Estas estructuras resuelven las cubiertas de cuatro y ocho aguas respectivamente, que resuelven plantas aproximadamente cuadradas. Otras veces las armaduras cuadradas se alargan para dar solución a plantas rectangulares, siempre utilizando el mismo sistema constructivo.

Con este estudio, por tanto, se pretende poner estas armaduras cuadradas y ochavadas en valor y darlas a conocer, ya que acostumbran pasar desapercibidas en un entorno rural gallego muy disperso y, a veces, prácticamente desconocido. Su innata belleza, importancia histórica y el inminente peligro de desaparición en el que se encuentra gran parte de ellas incita a poner todos los medios posibles a nuestra disposición para conservarlas.

Las armaduras ochavadas y cuadradas suponen un caso particular de las estructuras de pares convencionales a la hora de resolver cubiertas de más de dos aguas. Son sistemas que requieren un consumo excesivo de madera en comparación con otros sistemas, tales como las celosías o tijeras. Aún así, este tipo de soluciones ha sido muy profusamente utilizado en Galicia pues requiere maderos de menor escuadría y sus uniones carpinteras prácticamente no requieren elementos metálicos ya que trabajan principalmente a compresión. Conseguir vigas de cierta envergadura para forjados o cerchas a veces se hacía inviable, bien por falta de recursos forestales en la zona de porte tan importante, bien por falta de tecnología para obtener grandes secciones. Asimismo, el uso de estas secciones facilita el transporte y la manipulación de los diferentes elementos, así como evita la aparición de gran número de fendas de secado, mucho más importantes en secciones mayores. El alto coste histórico de la clavazón metálica tampoco debe ser obviado a la hora de visibilizar las ventajas de las armaduras de pares, que apenas necesitan de clavos o herrajes.

Así pues, los elementos principales de las armaduras cuadradas u ochavadas son idénticos a los de los sistemas de pares convencionales, tales como estribos, tirantes (que se adaptan a la esquina denominándose cuadrales), soleras o arrocabes. La mayor diferencia reside en la aparición de las limas, elementos que los artífices de estas estructuras utilizaban para resolver el encuentro entre los diferentes faldones. Las *limas* son elementos estructurales de mayor longitud que los pares y mucho más solicitados a esfuerzos de flexocompresión y torsión. En el modo de resolver estos elementos estructurales reside la esencia de este tipo de armaduras.

Las limas pueden ser básicamente de dos tipos, cada uno de los cuales conlleva un sistema de montaje de la cubierta diferente, así como su resultado estético final:

– Limas bordón o simples: una simple lima resuelve el encuentro y recibe los pares de ambos planos inclinados. Suele disponerse mecanizada con la pendiente de ambos faldones. A este mecanizado, que le aporta una sección trapezoidal al elemento, se le denomina *campaneo*. Lógicamente para montar tal cubierta se deben utilizar elementos auxiliares de andamiaje para soportar el peso de los diferentes faldones hasta que se encuentren perfectamente trabados. El montaje, por tanto, se realiza pieza a pieza. Probablemente se presentase y se ajustase primero en el suelo, para luego ir izando elemento a elemento, reduciendo así las labores a realizar en altura. En la figura 1 se muestra una imagen de la cabecera de la iglesia de Lamalonga (A Veiga, Ourense). Se trata de una típica estructura de pares que resuelve la esquina con una única lima, compensando los empujes a través de un cuadral (tirante que une ambos estribos que forman la esquina) y su respectivo aguilón. El sistema se completa con un almizate compuesto de nudillos y de peinazos. Estos últimos aportan la suficiente rigidez como para permitir asentar las limas directamente en los nudillos. Supone ésta una tipología habitual en toda Galicia, aunque destaca su utilización en las iglesias de las comarcas orensanas, como Viana do Bolo, A VeigaouVilamartín, donde el sistema alcanza altos grados de sofisticación.

– Limas moamares o dobladas: se resuelve el encuentro con dos limas paralelas, una por cada agua. Al utilizar estas limasse permite montar cada uno de los faldones en el suelo oen el taller y luego colocarlo sin más en su posición definitiva sin tener quedesmontarlo, haciendo encajar ambos en la esquina. El uso de limas dobles, a pesar de su complejidad constructiva, no sólo es ámbito propio de la arquitectura culta, sino que también se puede encontrar en la construcción tradicional y popular gallega, evitando con ello mecanizar la lima con su respectivo campaneo (figura 2). El uso de limas dobles también facilita la utilización de elementos de menor sección al repartir las cargas en dos elementos diferentes. Tales secciones son mucho más fáciles de conseguir y sus fendas de secado quedan más controladas.

Como ya se ha visto en las imágenes, a mayores de las limas estos armazones incorporan otros elementos interesantes desde un punto estructural y constructivo. Hablamos de los cuadrales (tirantes que equilibran los empujes en la esquina uniendo los estribos), aguilón (elementos que rigidizan más el sistema uniendo el cuadral y la esquina misma), nudillos, almizates y demás elementos típicos de las armaduras de pares. Asimismo es habitual que los constructores incorporen lacería y elementos decorativos más sofisticados aprovechando los pares y los almizates que genera el sistema constructivo, al igual que pasa en el resto de la península. Se trata de sistemas complejos donde el carpintero debe mostrar un control perfecto de la geometría para ejecutarlas.

Figura 1
Uso de las limas simples en la cabecera de la iglesia de Lamalonga, A Veiga, Ourense (imagen del autor)



Figura 2
Uso de limas dobles en la arquitectura popular gallega (imagen del autor)

Aunque no existan tantos ejemplos como en otras zonas de la península, ni tengan muchas veces tanta entidad, en el noroeste aún se conservan numerosos casos de cierto interés en los que se disponen plantas poligonales (en las cabeceras principalmente) o cuadradas (en los cruceros y presbiterios) y que adoptan alguna de las soluciones de armaduras de pares ya descritas. En la provincia de Ourense son mucho más habituales las estructuras cuadradas con limas bordón (figura 1), mientras que en la provincia de Lugo es fácil encontrarse armaduras con limas moamares de bastante interés, como las de las iglesias de San Miguel de Vila de Mouros, en O Incio (figura 3),



Figura 3
Imagen de la cabecera de la iglesia de San Miguel de Vila de Mouros, en O Incio (imagen del autor)

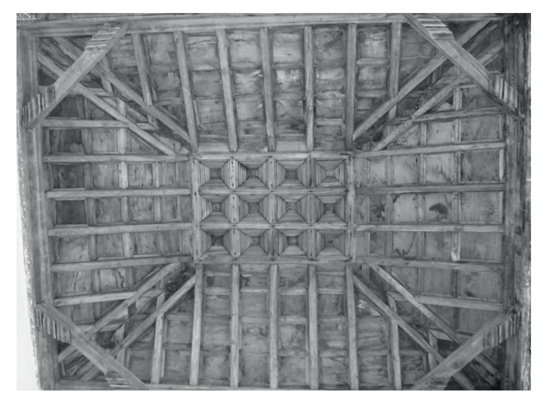


Figura 4
Imagen de la cabecera de la iglesia de Santiago de Estraxiz, en Samos. Luz de 4,5 m (imagen del autor)



Figura 5
Iglesia de Santa María de Castromao (fotografía de Emilio Busieres). Ejemplo de armadura oculta sobre cúpula, carente de todo sentido estético y primando tan sólo criterios funcionales

o la cabecera de la iglesia de Santiago de Estraxiz, en Samos (figura 4). En las dos restantes provincias costeras, Pontevedra y a Coruña, era usual el uso de bóvedas y cúpulas pétreas para resolver cabeceras y cruceros, apoyándose en una economía más boyante o, como poco, más pujante. Sobre tales cúpulas sí se resuelven cubiertas de madera a varias aguas, donde es habitual utilizar sistemas sencillos de limas simples y pares, sin ninguna pretensión estética (figura 5), fruto muchas veces más de la improvisación y del practicismo de los constructores que de reglas geométricas coherentes y contrastadas.

Armaduras con limas moamares

Las armaduras más interesantes, y que merecerían un estudio aún más pormenorizado que el presente, son las que se configuran con limas moamares. Como ya se ha comentado, resolver el encuentro con dos limas paralelas permite montar cada uno de los paños en el suelo para luego izarlo a su posición final.

La tipología preferente a la hora de utilizar limas dobles es la de par-nudillo, que permite la fácil unión entre los faldones, como se verá a continuación. Las estructuras de par-nudillo se configuran a base de parejas de pares equidistantes y unidos en la cabeza. En

Galicia lo habitual es que los pares posean secciones de entre 8 y 12 cm, es decir, de medio palmo utilizando medidas antropométricas, típicas en la construcción histórica, y teniendo en cuenta las posibles tolerancias y variaciones locales. Sus separaciones, como este autor ha podido comprobar personalmente durante el trabajo de campo, oscilan entre tres veces el ancho del par en las armaduras más antiguas conservadas (s.XV y S.XVI) y cuatro o cinco veces su ancho ya avanzado el tiempo (s.XVII y s.XVIII). Esto supone separaciones habituales entre 30 y 50 cm. A una altura aproximada de 2/3 de la armadura se dispone un nudillo o puente, elemento similar a un tirante y de idéntica sección que el par. Esta pieza ayuda a disminuir el trabajo a flexión de los pares. Por ello se denomina también falso tirante, pues usualmente trabaja a compresión, y no a tracción como sería el caso del propio tirante. Asimismo el nudillo responde a los esfuerzos asimétricos provocados por la nieve y el viento, arriostrando la estructura y ayudando a transmitir tales esfuerzos.En España y en Galicia, al contrario de lo que pasa más al norte de Europa, los techos suelen tener una pendiente más reducida, lo cual da lugar a un mayor esfuerzo de flexión en el par. De ahí que en la península el sistema de par y nudillosea bastante recurrente, ya que introduciendo el puente se reduce considerablemente el momento flector en los pares inclinados y su deformación.

Así pues, en la estructura cuadrada, al contar con nudillos horizontales, se puede configurar fácilmente un almizate oharneruelo (especie de falso techo a la altura de los mismos). Las limas se interrumpen a la altura de éste, lo mismo que los pares de los faldones extremos, tal como se observa en el esquema (figura 6). Tales pares, que sólo llegan al nudillo de los pares perpendiculares, se denominan «*manguetas*» o *«alaroces»,* mientras que los pares de menor longitud que acometen en las propias limas se denominan «*péndolas*». Los faldones que se conforman con los pares enteros se denominan *gualderas*, mientras que los otros dos compuestos por manguetas y péndolas son los *testeros*. Tanto gualderas como testeros se montan en el suelo y se izan

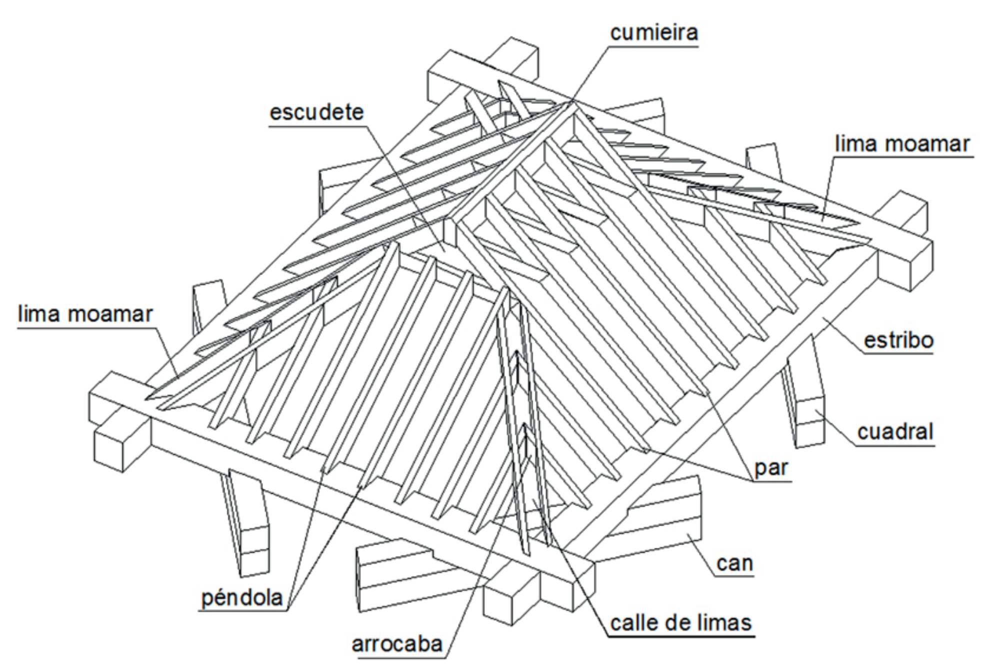


Figura 6
Esquema de las estructuras de Vila de Mouros y Estraxiz (imagen del autor)

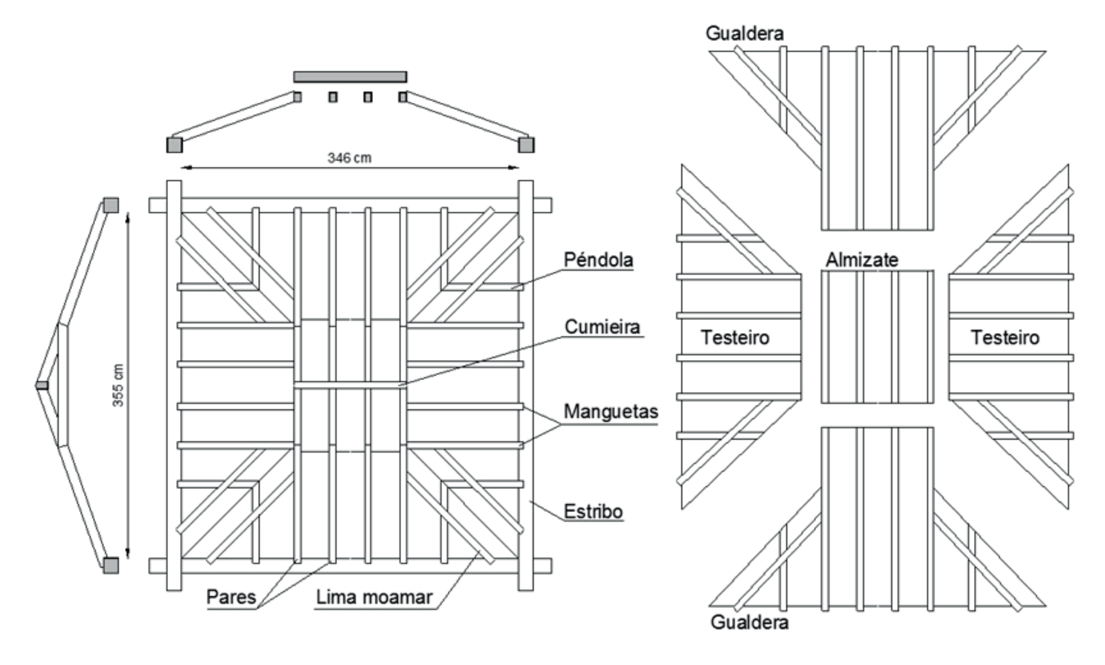


Figura 7
Esquema de la armadura de Vila de Mouros y descomposición en verdadera magnitud de las partes en las que se prefabrica la estructura en el suelo: almizate, gualderas y testeros (imagen del autor)

hasta su posición, donde pivotarían entorno al almizate haciéndolos encajar unos con otros (figura 7). Primero se colocaría apuntalado el almizate y se bascularían las gualderas sobre éste, encajando las gargantas de los pares en los cornezuelos de los nudillos. Al bascular ambos faldones, la cumbrera quedaría fijada entre ellos. Finalmente se situarían los testeros en su posición correcta.

Como se puede observar, en estas estructuras el almizate cumple una misión primordial, permitiendo el encuentro correcto entre gualderas y testeros. El almizate se conforma con los nudillos correspondientes a los pares de las gualderas y con peinazos de rigidización colocados en la dirección perpendicular. Los peinazos, de igual sección que los nudillos, colaboran a contrarrestar la excesiva flexión de los nudillos en los que se asientan las manguetas, evitando con ello tener que aumentarles la sección. En los dos ejemplos analizados observamos claramente la solución de estas estructuras, utilizando pares de sección aproximada de 8x12 cm y separados unos 30 cm. En la iglesia de Estraxiz también se aprecian claramente los peinazos en el almizate (figura 4).

Armaduras de limas simples

En todo caso, y a pesar de estos ejemplos excepcionales, de las que más abundan en Galicia son las armaduras de limas simples. A diferencia de las anteriores, éstas pueden asumir tanto sistemas de par-hilera como de par-nudillo. En las figuras 8 se muestran un esquema de la humilde cubrición de la nave lateral de la iglesia de San Miguel de Mones, en Petín, y en la figura 9 una imagen de la iglesia de Santa María de Mones, también en Petín. Se trata de dos claros ejemplos de resolución de armaduras en esquina con un sistema de par-hilera, sin utilización ninguna de nudillos o almizates. La armadura de par-hilera esla más sencilla y rudimentaria de las armaduras de pares: parejas de pares enfrentados interponiendo en la parte más elevada de los mismos

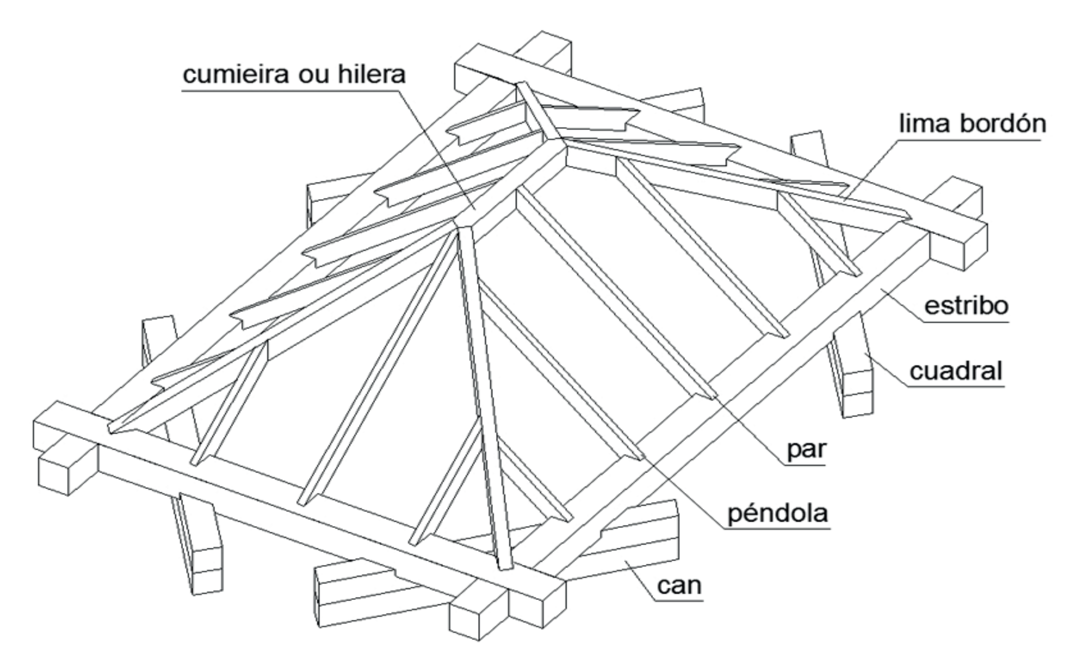


Figura 8
Esquema de la cubrición de la nave lateral de la iglesia de San Miguel de Mones, Petín (imagen del autor)

un elemento horizontal transversal (hilera, cumbrera o, en gallego, cumieira) que proporciona la estabilidad horizontal al conjunto y facilita la unión a compresión de los pares. La hilera no es un elemento imprescindible en las armaduras de pares, dado que una vez ejecutada la cubierta puede ser el propio entablado el que resuelva la estabilidad transversal sin necesidad de este madero horizontal. Sin embargo, utilizar este elemento facilita la estabilidad durante la ejecución de la obra cuando aún no se ha dispuestoel entablado ygenera uniones más fáciles de materializar.

Al contrario de las armaduras cuadradas con limas dobles, cuando se aplica esta tipología de par-hilera a las armaduras cuadradas o en esquina, éstas se han de ir montando elemento a elemento una vez presentada la hilera (o cumbrera) utilizando andamiajes auxiliares. Previamente se montan en el suelo, comprobando las uniones, y posteriormente se izan a su posición final.

Si la planta es exactamente cuadrada se puede prescindir de la hilera, llevando las cuatro limas a la



Figura 9
Capilla lateral de la iglesia de Santa María de Mones, Petín (imagen del autor)

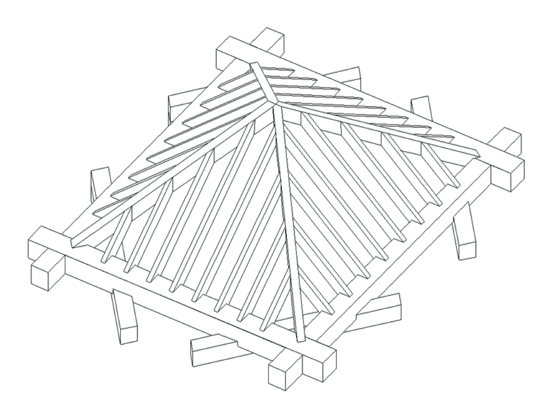


Figura 10
Esquema de armaduras cuadradas con limas bordón confluyendo y sin nudillos (imagen del autor)



Figura 11
Cubrición de una de las capillas de la iglesia de San Miguel de Mones, Petín, Ourense (imagen del autor) Cubrición de una de las capillas de la iglesia de San Miguel de Mones, Petín, Ourense (imagen del autor)

coronación de la armadura, donde se unirán a través de un nabo auxiliar de madera o por ensamble directo (figura 10). El problema en ambos casos, tanto donde existe cumbrera como donde las limas se encuentran entre ellas, es la excesiva luz que puede alcanzar la propia lima, aumentando drásticamente los esfuerzos de flexión y necesitando una sección más importante. De ahí que su uso acostumbre acotarse a casos de pequeñas luces (4 o 5 metros de luz, aproximadamente).

Cuando las luces crecen, muchas veces el constructor sigue optando por utilizar las limas bordón o simples, pero ahora adaptándose a un sistema de parnudillo. El sistema funciona de modo similar a los ya vistos con limas dobles, donde el almizate resuelve el encuentro entre los diferentes paños y rigidiza el sistema, permitiendo asentar las manguetas y equilibrando su empuje. De este modo se consigue acortar la longitud máxima de las limas, que apoyan también directamente en los nudillos del almizate. Asimismo se forma un escudete similar al ya visto en armaduras con limas moamares, que se debe resolver con elementos de la cubrición superior, tales como contrapares o limas supletorias. Es el caso de otra de las capillas de la iglesia de San Miguel de Mones, en Petín (Ourense), donde los testeros se resuelven con limas bordón (figura 11). Obsérvese como, en este caso, las limas se acortan al apoyarse en la esquina del almizate. Se requiere así menos sección de limas. Uno de los mayores inconvenientes de este tipo de estructuras estriba en compensar la flexión transversal de los nudillos extremos del almizate, ya que en ellos apoyan los pares del testero. Este problema se suele resolver, como ya hemos visto en el caso de limas dobles, colocando peinazos perpendiculares a los nudillos y de igual sección, dándole a estos techos su característica imagen en damero. A veces los constructores no instalan peinazos, en cuyo caso es fácil apreciar desplazamientos reales en la armadura

Armaduras ochavadas

Hasta ahora sólo se han comentado las armaduras cuadradas o de testero (a cuatro o tres aguas), que se resuelven de similar modo. Llevando estas mismas tipologías de pares, tanto de lima simple como doble, al extremo se pueden conseguir estructuras muy complejas a varias aguas, que revisten alto interés estético. Las más recurrentes son las armaduras ochavadas, donde sobre una planta cuadrada se disponen

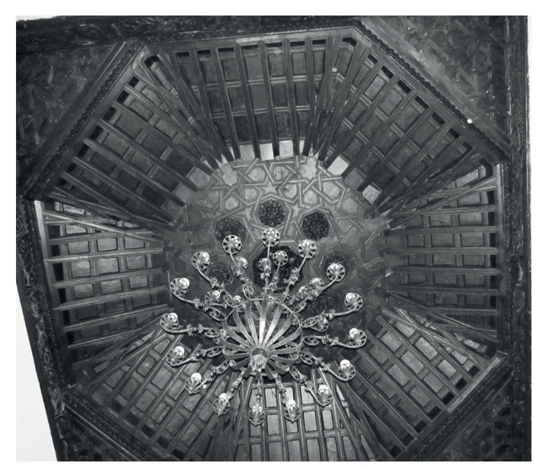


Figura 12
Estructura ochavada que cubre la escalera del Colegio Fonseca, Santiago (imagen del autor)

ocho faldones. Es el caso, por ejemplo, de la armadura que cubre la escalera del colegio Fonseca, en Santiago (figura 12), y del crucero del monasterio mendicante de San Francisco de Lugo, donde se resuelven las cubiertas utilizando como base un octógono inscrito en una planta aproximadamente cuadrada. Los cuadrales de esquina pasan a funcionar también como estribos, asentando en ellos los pares de su correspondiente faldón y conformando unas pechinas planas, que acentúan el dibujo del octógono (figura 13). En estos dos casos se utilizan las limas

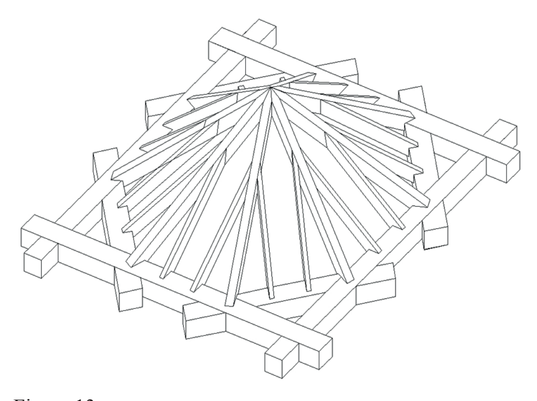


Figura 13
Esquema básico de una armadura ochavada con limas bordón (imagen del autor)

moamares, que facilitan la instalación y montaje de la armadura. Se trata de estructuras probablemente del s.XVII u XVIII, aunque hayan sufrido rehabilitaciones posteriores. En ambas de incorpora decoración de lacería mecanizando los nudillos.

El sistema constructivo

Para concluir, comentar que el resto del sistema constructivo es idéntico al de las estructuras de pares convencionales. Los apoyos de los pares en los estribos se realizan a través de patillas y barbillas, yla unión par-nudillo se consigue rebajando el par (garganta) y encajándolo entre los dos cornezuelos mecanizados en el nudillo. La transición entre la armadura y el muro, denominada arrocabe, ha de permitir perfectamente la ventilación del sistema y la adecuada transmisión de los empujes a través de los tirantes. En la figura 14 se observa el esquema de un arrocabe completo, con solera (elemento que regulariza la coronación del muro y permite el apoyo de todo el sistema), estribo (especie de viga que recibe los pares y transmite sus empujes al tirante), tirante y cuadral (compensan los empujes de dos estribos enfrentados o que conforman una esquina), can (separa el estribo del muro y reduce su luz libre), tocadura y aliceres (tablillas que resuelven los huecos libres entre los diferentes elementos). Existen muchas variantes a la hora de conformar los arrocabes y que se deberían tratar más pormenorizadamente: con un alicer simple o con dos, con o sin can, con la solera funcionando al mismo tiempo como estribo, etc. En este caso no se entrará en más profundidad al no ser el tema principal del estudio.

El detalle quizás más conflictivo desde un punto de vista constructivo de las armaduras cuadradas y ochavadas es la transmisión de los empujes que ejercen tanto pares como limas en las esquinas del muro. Como ya se ha comentado se lleva a cabo a través de los cuadrales, especie de tirantes a 45º que unen los estribos que conforman la esquina. La unión entre el cuadral y los estribos es similar al de los tirantes con los estribos, es decir, a media madera. En armaduras cuadradas, tal y como se ve en el esquema presentado (figura 15), se suele mecanizar tan sólo el cuadral a media madera colocándolo por debajo del estribo y asentado sobre canes o modillones. De este modo no se ve afectada la sección

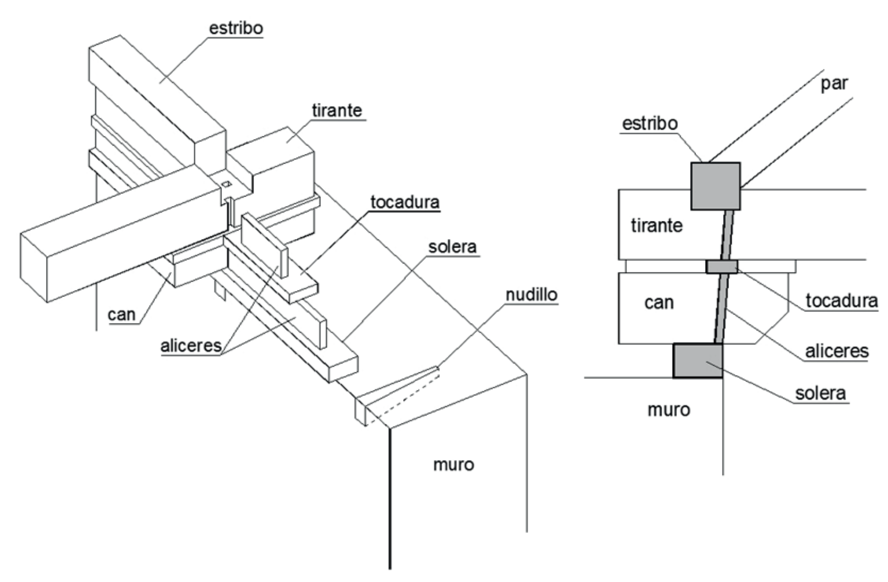


Figura 14
Esquema básico de los arrocabes en armaduras de pares y cuadradas (imagen del autor)

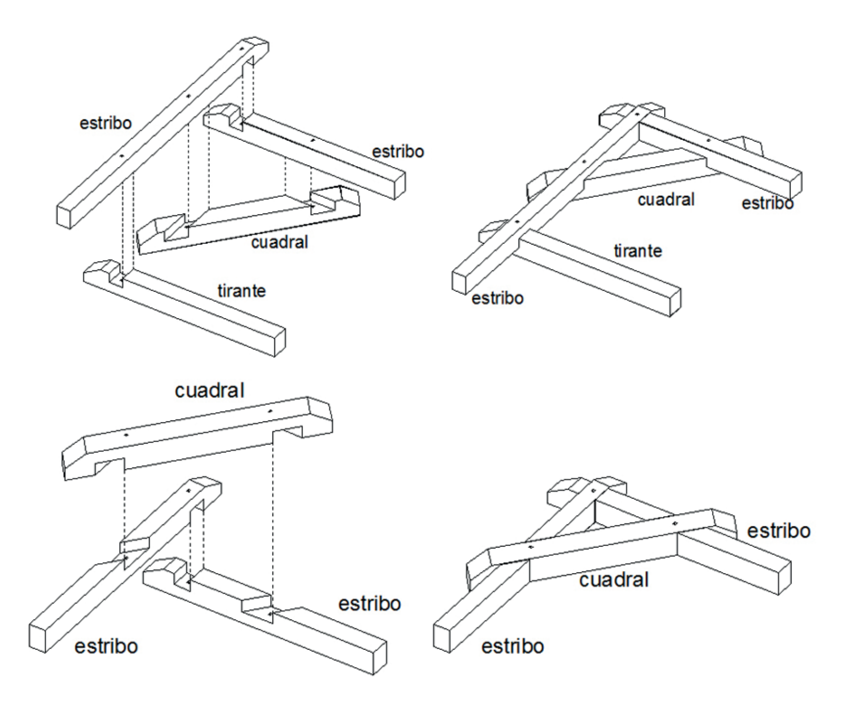


Figura 15
Conformación de la esquina en armaduras cuadradas y en armaduras ochavadas (imagen del autor)

del estribo. En cambio, en armaduras ochavadas las caras superiores del estribo y del cuadral han de coincidir, pues ambas reciben pares inclinados a la misma cota. En estos casos también se resuelve la unión con una media madera, pero practicada en ambos elementos estructurales, tal como se ve en el esquema de la figura 15.

En definitiva, en Galicia, al igual que en el resto de la península, las armaduras cuadradas y ochavadas suponen una interesante evolución de las armaduras de pares para resolver presbiterios de iglesias principalmente. Se trata de estructuras actualmente escasas, sobre todo las que cuentan con limas moamares, y que revisten un importante interés desde un punto de vista estético, constructivo y estructural. Evidentemente en este contexto no cuentan con la entidad que estas armaduras alcanzan en otros puntos del país, pero aun así sí poseen un claro valor histórico. Con este estudio se ha pretendido ponerlas en valor y darlas a conocer, aunque sea de forma escueta.

Lista de Referencias

Candelas Gutiérrez , Ángel L. 2001.*Carpintería de lo blanco onubense.* Huelva: Diputación de Huelva.

Nuere Matauco, Enrique. 1985. *La carpintería de lo blanco. Lectura dibujada del primer manuscrito de Lopez de Arenas*. Madrid: Ministerio de Cultura.

Nuere Matauco, Enrique. 1989.*La carpintería de armar española.*Madrid: Ministerio de Cultura, Instituto de Conservación y Restauración de BienesCulturales.

Rovira y Rabassa, Antonio. 1900. *La madera y su estereotomía.* Barcelona: Librería de Álvaro Verdaguer.

Las bóvedas de terceletes sin diagonales. El caso de la capilla Riquelme de Jerez de la Frontera (Cádiz)

Manuel Barroso Becerra
Francisco Pinto Puerto

La ausencia o modificación intencionada de alguno de los elementos característicos de una bóveda de crucería y terceletes son síntomas de una evolución en los sistemas compositivos tradicionales. Si además el elemento que desaparece es aquel que la principia constructivamente, su diagonal, podemos reconocer una cierta libertad constructiva fruto de la destreza y seguridad de su autor (López, Talaverano, Sanjurjo 2015, vol 2) o del gusto avanzado de sus mecenas (fig.1).El número de estas bóvedas sin diagonales -en comparación a las convencionales-en el ámbito hispano es escaso y aparecen asociadas generalmente a la influencia directa de maestros centroeuropeos (Rabasa, Alonso, Pliego, 2015: 1402). En el caso de la Capilla de los Riquelme, perteneciente a la iglesia parroquial de San Mateo de Jerez de la Frontera, concluida en 1517 (Romero 2018: 257), encontramos este tipo de bóveda asociado a otros elementos igualmente peculiares como los estribos circulares, algunos motivos decorativos como baquetones acodados bajo las ménsulas y el despiece de la plementería en hiladas a la "inglesa". Situar este tipo de bóvedas en el contexto productivo hispano y europeo, así como analizar su geometría y proceso constructivo, puede ayudar a ampliar el mapa de la arquitectura tardogótica al sur de Europa.

El trabajo que ahora se presenta es continuación de un ejercicio de análisis multidisciplinar -histórico, arqueológico, urbanístico, semántico y constructivo-desarrollado sobre la iglesia parroquial de San Mateo de Jerez de la Frontera (Jiménez 2018). En éste, quedó contextualizado el prolongado proceso de reformas y reedificación de ésta iglesia, muy común en la etapa de ocupación y estructuración territorial tras la reconquista y reunificación territorial bajo el reinado de los Reyes Católicos. Desde que se concluyó en 2016, han surgido nuevos datos que permiten precisar la referencia formal y constructiva de su bóveda y al análisis de su proceso constructivo.

Metodología de trabajo

Para este estudio se ha trabajado a diversas escalas: la capilla, el templo del que forma parte, y la escala territorial en la que se contextualizó la empresa edilicia. Se partió de un levantamiento fotogramétrico apoyado en una toma de puntos con estación laser, con los quese construyó un modelo gráfico digital de su estado actual. De éste se obtuvieron proyecciones planas coherentes a los procesos de control formal y constructivo de la bóveda: la planta y los abatimientos de sus arcos principales, que acompañamos de otras proyecciones convencionales para mejorar su comprensión. También el levantamiento ayudó al registro de las huellas perceptibles en sus fábricas y paramentos, facilitando la interpretación de las preexistencias. Por otro lado, se usaron bases de datos y sistemas de información geográfica para verificar su relación con otros ejemplos semejantes coetáneos (Ferreira 2017; Ferreira 2018), e incluir los resultados en redes de investigaciónafines.[1] Finalmente, los

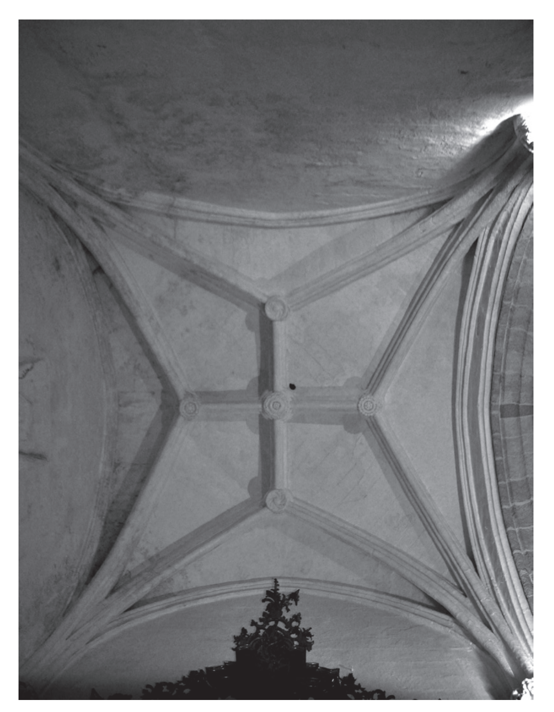


Figura 1
Vista de la bóveda de la Capilla Riquelme. (autores)

documentos escritos y gráficos coetáneos a las propias fábricas -oficios notariales, manuscritos y libros de arquitectura- han ofrecido indicadores cronológicos para su adecuada contextualización histórica. El resultado ha supuesto un ejercicio de síntesis de estos procesos y estrategias de conocimiento sobre la historia de las formas construidas en éste singular periodo que denominamos tardogótico.

La iglesia de San Mateo y la Capilla de los Riquelme.

La iglesia de San Mateo de Jerez, de una sola nave, se encuentra rodeada de pequeñas capillas funerarias fundadas por las principales familias jerezanas durante los s. XIV y XV(López 2018).La iglesia inicial era de traza mudéjar, pero sufrió desde finales del s. XV hasta mediados del s. XVI (Guerrero 2018), una importante reforma que renovó sus naves y capillas laterales al lenguaje tardogótico (Pinto y Barroso 2018). En este proceso algunas de estas capillas quedaron intactas, mientras otras se fundaron desde los cimientos. A este último caso responde la de los Riquelme, fundada por Juan Riquel El viejo en 1490,

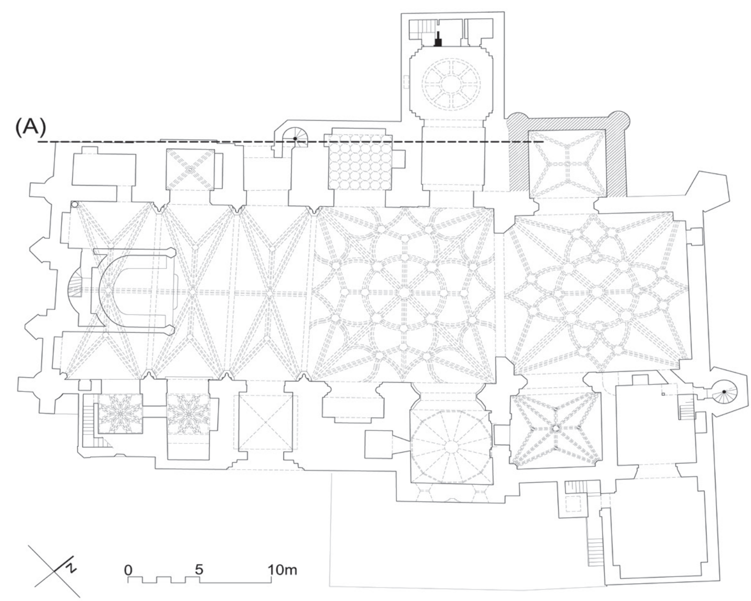


Figura 2
Planta de la iglesia de San Mateo. (Guerrero 2018)

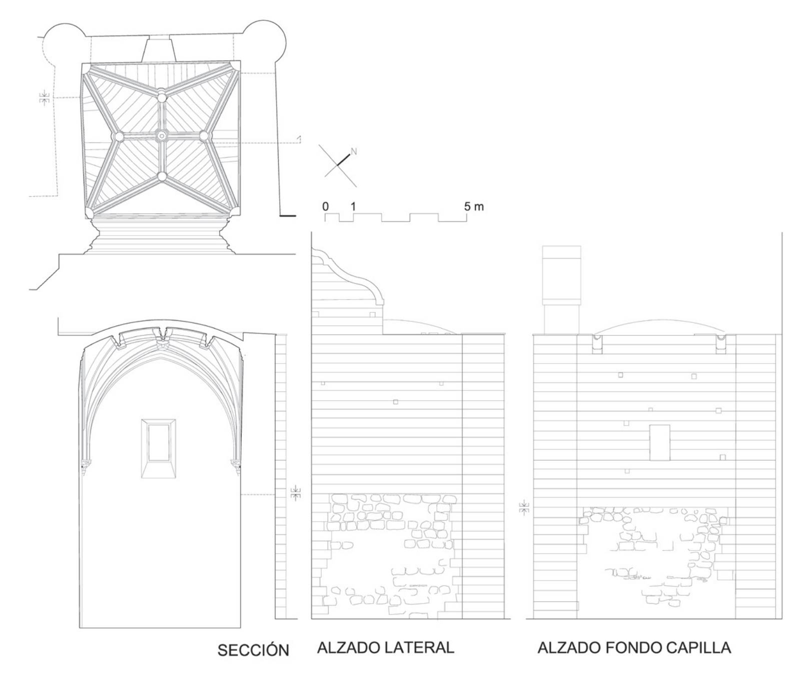


Figura 3
Proyecciones de la capilla (autores)

en el lado del evangelio, junto a la caja del nuevo presbiterio cuadrado. Su relación con este espacio principal del templo se produce a través de un potente arco de embocadura. (fig.2).

La capilla tiene una planta casi cuadrada, presentando una irregularidad en su paramento izquierdo que indica un cambio de alineación del muro. Esta discontinuidad se debe a que fue aprovechada la estructura de la capilla aledaña, fundada por los Patiño, de menor profundidad, la misma que tuvieron las capillas mudéjares que se han conservado adosadas al lado del evangelio, como se indica como(A) en la planta anterior. Esta capilla vecina sufrió una importante reforma en 1727 que la amplió para convertirla en Sagrario(Bernal, Utrera y Pina 2018, 802). La capilla de los Riquelme avanzó respecto a las mudéjares ofreciendo en las esquinas unos peculiares y potentes estribos cilíndricos que le conferían la imagen de un edificio autónomo y singular respecto al templo.

Su caja mural está formada por dos tipos de aparejos cuya diferencia nos indica dos momentos constructivos distintos (fig.3). La fábrica inferior está formada por mampuestos de piedras irregulares en hiladas horizontales con rellenos de ripios. A una altura de 1,5 metros encontramos algunas hiladas de ladrillo, seguramente para corregir su nivelación. Sobre ella, y hasta su coronación, los paramentos y estribos quedaron construidos con hiladas de sillares regulares formando una sola unidad constructiva. La interfaz entre ambas es horizontal y se sitúa entre 4,00 y 4,50 metros, justo por debajo de las ménsulas vegetales que sirven de arranque a la bóveda. A diferencia de los muros, los estribos son homogéneos desde los cimientos hasta los remates y se unen verticalmente a la fábrica inferior mediante adarajas de piedra que rompen los mampuestos. A partir de estos datos podemos comprobar que existe un cambio de criterio en la construcción de la capilla justo al inicio de la bóveda. Del mismo modo, podríamos afirmar que bóveda y estribos circulares forman parte de una misma decisión constructiva.

En ésta última operación la capilla quedó cubierta por unos elementos absolutamente innovadores y extraños en la arquitectura local del momento, que aún hoy le aportan un talante de rareza en el contexto de la arquitectura tardogótica del Arzobispado de Sevi-

lla, hasta ahora descontextualizados geográficamente, ya que el modelo de traza adoptado lo encontramos en ese momento en los entornos de las catedrales de Burgos y Toledo.

Antecedentes y paralelos de la bóveda de la capilla en el contexto del tardogótico

Los antecedentes de éste tipo de bóveda se remontan a la segunda mitad del s. XV, fruto de la influencia de modelos del centro y norte de Europa caracterizadas por la libertad en el manejo de los nervios que las estructuran[2]. La procedencia de este tipo de bóveda parece situarse sobre todo en Alemania, donde se experimenta con una gran cantidad de nervios que desaparecen o se interrumpen antes de cruzarse en la clave central. De todas estas variaciones posibles, que han quedado recogidas en el trabajo colectivo de la red Docogothic[3], nos centraremos en aquellas que suprimen totalmente los nervios diagonales, cerrándose su trasdós mediante un plemento con despiece de hiladas perpendiculares a la bisectriz, quedando así la bóveda reducida formal y estructuralmente a un cruce de terceletes en cinco o cuatro claves.

En el ámbito hispano encontramos este tipo de bóvedas aplicadas generalmente a espacios cuadrados, situados en algunos tramos de las pandas de los claustros, intercalados entre otros tipos, y en capillas funerarias o devocionales, todas con un tamaño mediano respecto a las bóvedas que suelen configurar los tramos de naves en los templos[4]. Aquellos que ofrecen una mayor semejanza con la Capilla de Riquelme, siendo prácticamente idénticas formal, geométrica y dimensionalmente, no así en lo ornamental son: las que cierran los claustros del Monasterio de San Salvador de Oña (Burgos) construido entre 1503 y 1512, en la que está documentada la intervención de Simón de Colonia en 1511; la de la Catedral de Burgo de Osma en Soria, construido entre 1510 y 1515; a las que habría que añadir, con diferencias en el plemento, en este caso de ladrillo, las del Monasterio de la Cartuja de Santa María del Paular de Rascafría en Madrid, trazado por Juan Guas entre 1484 y 1486, todas situadas en el ámbito del foco burgalés. (Figura 4)

Caben destacar otros casos de bóvedas muy parecidas a la que estudiamos, pero con ligeras diferencias, entre las que estaría las siguientes en orden cronológico: las primeras, en el foco toledano, las del claustro del Convento de San Juan de los Reyes en Toledo, trazada por Juan Guas hacia 1493, en la que la cruz de combados que une las cinco claves se sustituye por un cuadrado central que une los 8 terceletes, por lo que solo cuenta con cuatro claves; la que cierra la Capilla de la Asunción o de los García del Espinar (segunda por el lado del Evangelio) en Monasterio de Santa María del Parral, en la que también intervendría Juan Guas, junto a Bonifacio Guas, que resulta una variación de la anterior, ya que tiene forma en planta rectangular, y Capilla de San Idelfonso o del Cardenal Mella tramo oeste, a los pies de la Catedral de Zamora -ya estaba construida en 1466- en la que la plementería completa presenta aparejo por simple arista. (Figura 5)

En el Arzobispado hispalense, encontramos la bóveda de la sacristía de la Capilla Virgen de la Antigua en la Catedral de Sevilla cuya traza está atribuida a



Figura 4
De izquierda a derecha: San Salvador de Oña; Catedral Burgos de Osma; Cartuja del Paular (cedidas por M. Romero)



Figura 5
De izquierda a derecha: San Juan de los Reyes; Capilla Asunción en Santa María del Parral; Capilla de San Ildefonso. (cedidas por M. Romero)

Simón de Colonia, siendo levantada por el maestro Alonso Rodríguez entre 1495 y 1500 (Jiménez 2013).

Sabiendo que la capilla jerezana estaba ya construida en 1517, todas las citadas son anteriores, aunque no por muchos años, por lo que no cabe duda que este modelo de traza, que había sido importado por los citados maestros extranjeros desde Europa, ya había sido empleado con anterioridad, tanto fuera como dentro de la península ibérica y, por tanto, debió llegar a Jerez de manos de alguno de los maestros que habían tenido conocimiento de ellas y muy probablemente, contacto con sus constructores.

Posteriormente encontramos otros ejemplos donde este tipo de bóvedas aparecen aplicadas a las naves laterales, usando esta vez plementería de ladrillo en la parroquial de Santiago de Utrera atribuidas a Diego de Riaño (Romero y Romero 2018), y finalmente la Capilla mayor de la Iglesia de San Bartolomé de Real de la Jara (Sevilla), este último caso también con nervios de ladrillo. La imagen de este tipo de solución está presente también en ornamentos en forma de doseles como los de la fachada principal de la Basílica Menor de Santa María de Arcos de la Frontera atribuida a Juan Gil de Hontañón (1515-1520) y donde pudo trabajar también el maestro Rodrigo de Alcalá. Este mismo tipo de elemento ornamental lo encontramos en la capilla mayor de San Mateo, rematando el que fuera su altar mayor tardogótico, oculto por otro barroco. (Figura 6)

Al igual que el trazado de la bóveda, los estribos circulares que configuran las esquinas exteriores de la capilla aparecen como un recurso bastante singular, que nuevamente vemos en Castilla y Portugal (Romero 2018,264-267). Habría que considerar dos aspectos en el uso de estas formas cilíndricas: por un lado, su papel como elemento constructivo que unifica dos estribos perpendiculares o diagonales, y por otro su potencial para dar magnificencia al volumen de la capilla (Figura 7). Del primero encon-



Figura 6
De izquierda a derecha: Sacristía capilla de la Antigua; Dosel de Santa María de Arco; naves de Santiago de Utrera



Figura 7
Imagen exterior de la capilla de los Riquelme (autores)

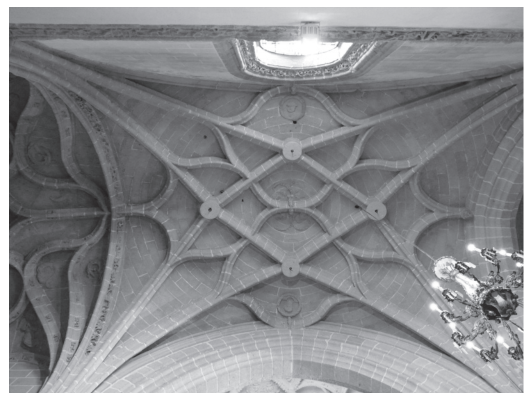


Figura 8
Bóveda de capilla lateral de Santa María la Coronada. Medina Sidonia (autores)

tramos muchos ejemplos en Castilla: en la fachada del Colegio Mayor de Salamanca; en la cabecera y fachada principal de la iglesia del Monasterio del Parral, por citar sólo algún ejemplo. En el ámbito hispalense los usó Diego de Riaño para resolver los estribos laterales en la iglesia Mayor de San Miguel de Morón como alternativa a los pináculos recambiados (Pinto 2013). El segundo tendrá un mayor desarrollo tanto en la configuración exterior de escaleras de caracol, como en elementos rematados por pináculos (Pinto 2014).

Poco después de cerrarse esta capilla, aparecerá con fuerza en el arzobispado hispalense los nervios combados, cambiando radicalmente el gusto hacia soluciones más complejas. Pero la desaparición del arco diagonal quedará como una aportación que perdurará en la obra de maestros como Francisco Rodríguez, prolongándose hasta la segunda mitad del s. XVI, fundido con nervios combados y plementerías en hiladas concéntricas (Pinto y Sanjurjo 2011). Magníficos ejemplos los encontramos en las bóvedas de las naves y capillas de aquellas iglesias principales en las que actuó este maestro: Santa María la Mayor la Coronada de Medina Sidonia, San Mateo de Tarifa y el Divino Salvador de Vejer de la Frontera, todas en el ámbito del obispado gaditano. (fig.8)

Todos los ejemplos citados podemos relacionarlos entre sí a través de factores territoriales, como los caminos principales de la época, conocidos a través de la recopilación que hiciera Juan de Villuga en 1543, que han sido analizados y georreferenciados por Patricia Ferreira.[5] Destacan dos de estos caminos: el que baja por la parte central de la península, y el que lo hace por Extremadura, convergiendo ambos en Sevilla para dirigirse a los puertos costeros, lugar también de entrada de muchos maestros que recalan en Andalucía. En este caso, sin embargo, observamos que las referencias tipológicas proceden de regiones interiores, por lo que serían estos caminos terrestres los más frecuentados. En la cartografía temática observamos como a una distancia razonable de estos caminos se arraciman las fábricas citadas. La incidencia en las soluciones adoptadas de la proximidad a estas rutas podrá verificarse o desestimarse a medida que surjan nuevas referencias que podamos georreferenciar y documentar adecuadamente, completando un trabajo en red (Figura 09).

De todos los maestros citados será Simón de Colonia el que aparezca documentado en el arzobispado

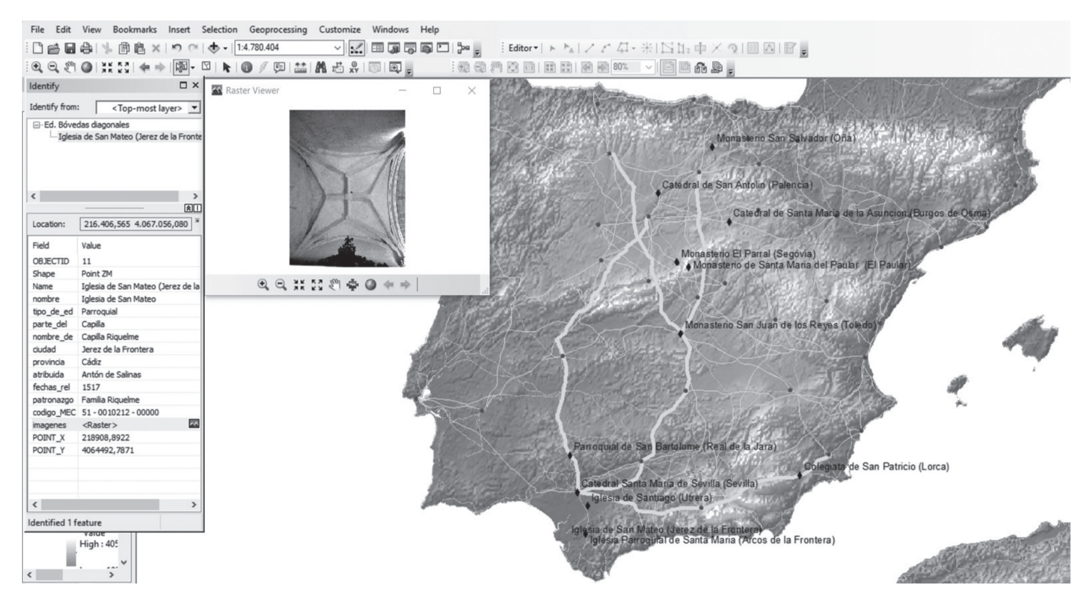


Figura 9
Pantalla tabla identificación de bóvedas en mapa peninsular y atributos de la bóveda de Riquelme (Ferreira 2018)

hispalense, trabajando en su catedral bajo el mecenazgo de la familia Mendoza. A él se debe la traza de las bóvedas de la capilla de la Antigua y de su sacristía, relacionadas con la capilla que trazó en Palencia, y en la que hiciera en Toledo para Juan Guas (Talaverano, Pérez, Senent 2012). Sin embargo, ante la falta de datos documentales no podemos atribuir todas estas obras a la influencia de este maestro de estancia fugaz (Méndez 2009), por lo que tendremos que buscar otras referencias, y es aquí donde los documentos han arrojado algo más de luz.

El maestro de la Capilla de los Riquelme

En el contexto histórico en el que se desarrollan los ejemplos citados, llegaría a Jerez el maestro Antón de Salinas, que podría ponerse en relación con la construcción de esta capilla y su bóveda.

Este maestro, natural del Burgo de Osma (Soria), según declara en su testamento,[6] parece haber tenido relación con las tracerías del claustro del Convento de Santo Domingo en Jerez, según el historiador Romero Bejarano. En este claustro encontramos piezas muy en sintonía a otras dos obras del foco del taller burgalés: el claustro de los Caballeros del Monasterio benedictino de San Salvador de Oña (Burgos) y el claustro de la Catedral de Nuestra Señora de la Asunción del Burgo de Osma (Soria). El de Oña se llevó a cabo entre 1503 y 1512 y en él está documentada la intervención de Simón de Colonia. No es nada descabellado pensar que los modelos constructivos y ornamentales llegasen a Jerez a través de alarifes, canteros y maestros llegados a la zona desde finales del s. XV y principio del XVI, como lo hicieron el propio Colonia a la Catedral de Sevilla en 1495 y posteriormente Juan Gil de Hontañón a partir de 1515. Quizás Antón de Salina pudo llegar a Sevilla como parte de la plantilla de Colonia, recalando en Jerez a través de su colaborador en la catedral hispalense, Alonso Rodríguez.

La presencia de este maestro coincide además con la existencia en su región de origen de los casos de bóvedas más similares a las que analizamos. En Jerez se documentan varias capillas reformadas o levantadas por este maestro en el primer tercio del s. XVI, la desaparecida de Gonzalo Pérez en la antigua colegiata de San Salvador, o las bóvedas de los pies de la única nave de la parroquial de San Marcos, de traza también muy parecida a otras castellanas atribuidas

al foco burgalés. Desde 1524, «Antón de Salinas fue juez de alarifes de la ciudad, un cargo oficial vinculado al Municipio que tenía funciones de examinador, veedor y tasador de obras, amén de solventar los pleitos que surgieran en el ámbito de la construcción» (Romero y Romero 2010). Además, «Antón de Salinas estaba emparentado con la saga de los Rodríguez, maestros constructores jerezanos que se sucedieron en las principales obras de la comarca durante los siglos XV y XVI, pues se había casado con Catalina Ramírez, nieta de Francisco Rodríguez, el viejo, hija de Cristóbal Rodríguez y hermana de Pedro Fernández de la Zarza» (Romero y Romero 2010).

Esta saga concluye en el maestro Francisco Rodríguez, el joven. De este modo, tenemos a un maestro procedente del foco del taller burgalés que aparece en Jerez, llegando a ostentar importantes cargos municipales que determinan la estructura profesional de esta zona, emparentado con la familia de canteros y maestros más importantes del lugar-los Rodríguez-cuyos miembros mantendrán incorporada en sus obras la herencia recibida, adaptada a los nuevos tiempos y corrientes ornamentales.

Peculiaridades constructivas de la bóveda. Resultados del análisis

La planta de 5,60 metros de ancho y 5,47 de fondo se cubre con una bóveda de terceletes sin diagonales, donde los arcos rampantes configuran una cruz que une sus cinco claves. Mientras aquí la cruz está representada sólo por la presencia de los nervios, en su análoga de San Salvador de Oña esta figura queda sublimada por una decoración vegetal, que refuerza su sentido simbólico.

La disposición de los nervios en planta atiende a la geometría «ad quadratum», ajustada a la propia deformación del perímetro de la capilla. De estos cuadrados girados, resulta sin apenas medir una cuadrícula de partes casi iguales. A partir de este andamiaje geométrico simple se obtiene con facilidad la posición de las claves y las proyecciones de los nervios sobre el plano horizontal (fig.10).

De la captura métrica se determinan suficientes puntos de los arcos de los terceletes y rampantes como para calcular su curvatura. Ponemos como ejemplo uno de ellos (B) cuya curvatura calculamos en un abatimiento, obteniendo un radio de intradós

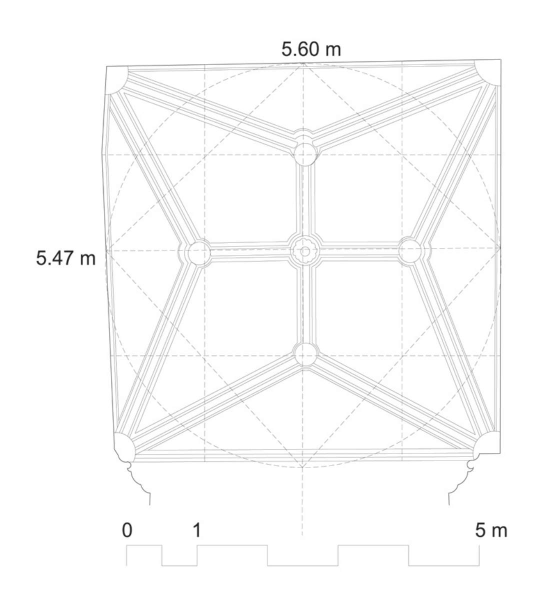


Figura 10
Planta de la bóveda con geometría base de la traza (autores)

del nervio de 2.80 metros, medida aproximada de los siete restantes. Esta medida es la mitad del lado mayor de la capilla. Del mismo modo calculamos la curvatura de los arcos rampantes, que también difieren entre sí debido a la diferencia entre los lados de la capilla. Si tomamos el mayor (C) obtendremos un radio de intradós aproximado de 5 metros, que hemos representado sobre una sección convencional, observando que el punto de trazado viene a coincidir con la interfaz constructiva detectada en la cara exterior de los muros, algo más abajo del inicio de las ménsulas.(Figura 11)

De la misma captura métrica y la fotogrametría hemos podido obtener la sección de los nervios, que arrojan una potencia de 0,43 metros formando un baquetón circular inferior, dos molduras de contra curvas y un pequeño peralte rectangular, muy común en las bóvedas jerezanas.

Los nervios de la bóveda se inician sobre las ménsulas ornamentadas, siguiendo un desarrollo vertical, a modo de peralte, que ocupa cuatro hiladas de sillares, hasta una altura de 1,24 metros. El enjarje sigue ascendiendo hasta 1,94 metros, conteniendo parte de la curvatura de los nervios, hasta que estos se separan materialmente entre sí para formar los terceletes.

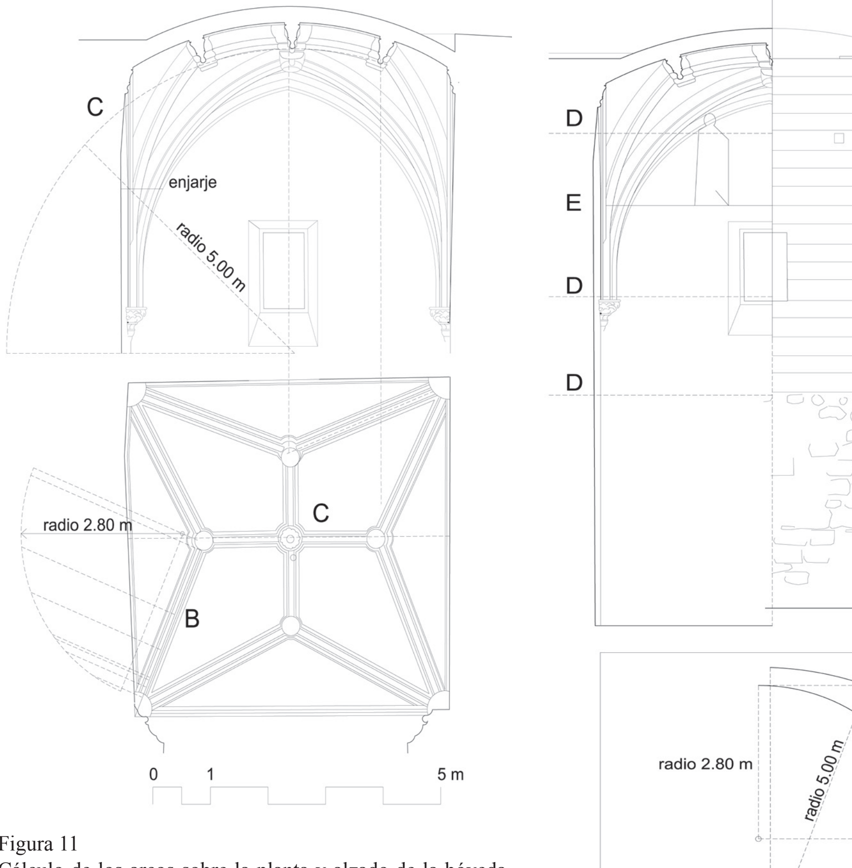


Figura 11
Cálculo de los arcos sobre la planta y alzado de la bóveda. (autores)

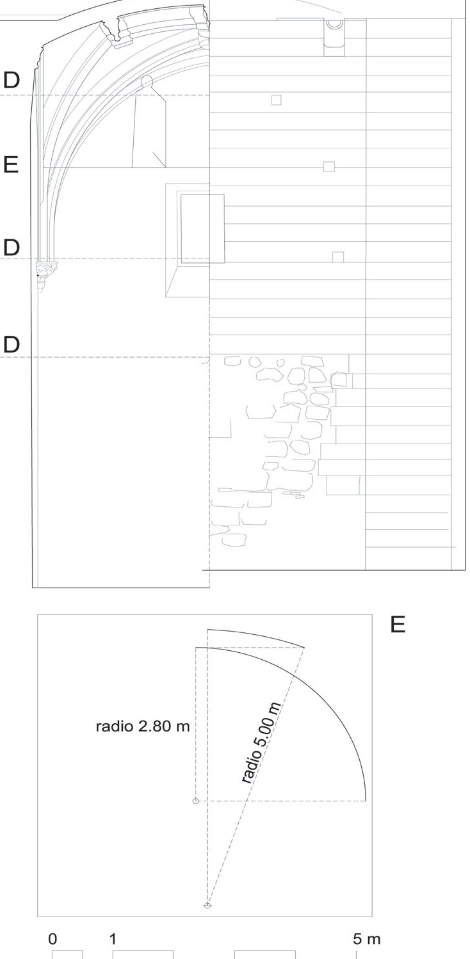


Figura 12
Alzado y sección de la capilla. Huellas elementos constructivos. (autores)

Hasta esta altura los despieces de las dovelas de estos nervios presentan hiladas horizontales, formando parte del aparejo del muro. A partir de aquí las juntas comienzan a ser radiales. Estas alturas vienen a coincidir con las que se observan en los mechinales del paramento exterior del muro frontal. Estos huecos aparecen cegados con ladrillos y a veces colmatados de mortero, percibiéndose con claridad. Cada grupo de mechinales forman bandas horizontales (D) separadas verticalmente entre sí entre 1,76 y 1,86 metros, altura que un operario domina para realizar trabajos. Estas líneas de mechinales coinciden con la base de las ménsulas, la altura de los enjarjes, el alfeizar y dintel de la ventana que ilumina la capilla, todos puntos singulares en el proceso de ejecución de la capilla. (fig.12)

Si consideramos que hasta la parte alta del enjarje no se inicia el desarrollo aéreo de la bóveda, no es preciso un andamiaje sobre el espacio para construirla. Con bastante probabilidad, el entablado para la ejecución de la bóveda se colocaría a esa altura (E), facilitando así el montaje de las dovelas. Verificamos también que el área disponible sobre este entablado es suficiente para trazar sobre su superficie ambos arcos, el del rampante y el de tercelete, sobre los que

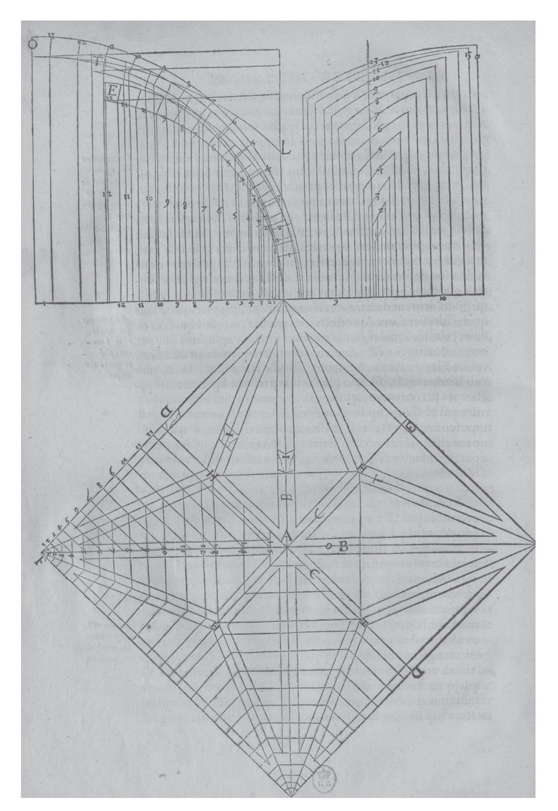


Figura 13
Folio del manuscrito de arquitectura de Philibert de l´Orme

se replantearían y reajustarían las dovelas antes de colocarlas en su lugar.

El despiece de la plementería sigue el mismo sistema que sus análogas castellanas, combinando hiladas a la "inglesa" en el espacio central con forma de estrella de cuatro puntas delimitado por los terceletes y, a la "francesa" o de simple arista, en los triángulos exteriores (Gómez 1998, 158; Palacios 2009; 112-116). Este tipo de aparejo aparece representado en la montea para bóveda de crucería estrellada del manuscrito de arquitectura de Philibert de l´Orme [1567](1988), como alternativa para cubrir el modelo de bóveda de «voute moderne», de planta cuadrada y cinco claves con terceletes, en el que se plantean los dos tipos de despiece(fig.14). En el caso que estudiamos es bastante regular, formado piezas de 0,24 metros de ancho entre las que observamos algunas tablas mayores que llegan a 0,40 metros. En resumen, observamos que su ejecución es bastante correcta, y recurre a operaciones sencillas de trazado que pueden desarrollarse con facilidad confinadas al espacio de la capilla.

Agradecimientos

A Manuel Romero por su asesoramiento histórico y por aportarnos el documento aparecido recientemente que citamos en la nota 6, y algunas fotografías de las bóvedas de Oña y Burgo de Osma. A José María Guerrero por cedernos el uso de la planta de la iglesia de San Mateo. A Patricia Ferreira por procesar en SIG la información relacionada con esta comunicación y aportarnos las pantallas y planos territoriales que le hemos solicitado.

Notas

1. Hemos participado en dos iniciativas de la red temática sobre la arquitectura tardogótica: En la Red de Investigación Cooperativa sobre el Arte Tardogótico (Siglos XV-XVI),y en la plataforma de documentación sistemática de la construcción tardogótica hispánica, que ha contado con financiación del Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto HAR2015-70906-REDT.
2. Este tipo de variaciones ha sido estudiado en la tesis inédita, leída en 2016 en la Universidad politécnica de Madrid por Rosa Senent Dominguez, con el título *La deformación del tipo. Construcción de bóvedas no-canónicas en España. s. XVI –XVIII*.
3. http://transgot.vaultsconstruction.com/
4. Los datos citados están recogidas y referenciados bibliográfica y documentalmente en la tesis inédita leída en la Universidad de Sevilla en 2015 por Manuel Romero Bejarano, con el título *Maestros y obras de ascendencia portuguesa en el tardogótico de la Baja Andalucía.*
5. Tesis doctoral inédita leída en 2018 en la Universidad de Sevilla por Patricia Ferreira Lopes con el título *Modelos Digitales de Información – SIG y Grafos – aplicados en el patrimonio. La fábrica edilicia en el antiguo reino de Sevilla en el tránsito a la Edad Moderna.*
6. APNJF. 1524. Oficio VII. Luis de Llanos. Fol. 571.

Lista de referencias

Bernal González, J.F., Utrera Burgal, R. y Pina Calle, A. 2018. Obras de restauración de la Capilla del Sagrario. *La parroquia de San Mateo de Jerez de la Frontera. Historia, Artes y Arquitectura.* Editum. Murcia. pp. 785-843.

Ferreira Lopes, P. y Pinto Puerto, F. 2017. Creación de un modelo de información relacional de la red tardogótica. Avances, problemáticas y soluciones. En E. Rabasa Díaz, A. López Mozo y M. A. Alonso Rodríguez (Eds.), *Obra Congrua*. Instituto Juan de Herrera. Madrid. pp.365-377.

Ferreira Lopes, P. 2018. La transformación del proceso de investigación en historia de la arquitectura con el uso de las tecnologías digitales. Nuria Rodríguez-Ortega (coord.). *Humanidades digitales: sociedades, políticas, saberes*. *Artnodes*. N.º 22. pp. 62-71.

Gómez Martínez, J. 1998. *El gótico español de la Edad Moderna. Bóvedas de crucería.* Universidad de Valladolid. Valladolid.

Guerrero Vega, J.M. 2018. El primer San Mateo y sus capillas: una lectura de su proceso evolutivo. La parroquia de San Mateo de Jerez de la Frontera. Historia, Artes y Arquitectura. Editum. Murcia. pp. 161-191.

Jiménez López de Eguileta [coord.] 2018. *La parroquia de San Mateo de Jerez de la Frontera. Historia, Artes y Arquitectura.* Editum. Murcia.

Jiménez Martín, A. 2013. *Anatomía de la Catedral de Sevilla.* Diputación de Sevilla. Sevilla.

López Mozo, Ana; Martín Talaverano, Rafael; Sanjurjo Álvares, Alberto. 2015. Rasgos europeos en las bóvedas tardogóticas españolas. Casos relevantes. *Actas del noveno congreso nacional y primer congreso internacional hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Vol. II. Instituto Juan de Herrera. Madrid. pp. 937-947.

López-Mozo, Ana, Miguel Ángel Alonso Rodríguez and Alberto Sanjurjo Álvarez. 2017. Bóvedas de terceletes con rombo diagonal. Transmisión de conocimiento técnico en el tardogótico europeo. *En Actas del X Congreso Nacional y II Hispanoamericano de Historia de la Construcción, vol II*, 893-903. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

L´Orme, P. de [1567] 1988. *Le premier tome de l´Architecture, libros III y IV*. París. Facsímil de Leonce Laget.

López Vargas-Machuca, F. 2018. San Mateo en la edad Media: propuestas interpretativas. La Parroquia de San Mateo de jerez de la Frontera. Historia, Arte y Arquitectura. Editum, Murcia. 193-241.

Martín Talaverano, R., Pérez de los Ríos, C. y Senent Domínguez, R. 2012. Late Gothic German Vault Design Methods and Its Relationship with Spanish Ribbed Vaults. *Nuts & Bolts of Construction History: Culture, Technology and Society* . Picard, París, pp. 83-90

Méndez González, N. 2009. Juan de Colonia en los inicios del tardogótico burgalés. *Actas del IV Simposio Internacional de jóvenes medievalistas*, Murcia. 2009. pp.145-160

Palacios Gonzalo, J.C. 2009. *La cantería medieval. La construcción de la bóveda gótica española*. Munilla Leira. Madrid.

Pinto Puerto, F. y Sanjurjo Álvarez, A. 2011. Francisco Rodríguez. Soluciones singulares de cantería en la construcción de un lenguaje moderno. *Actas del VII Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* Vol II. Madrid, pp. 1099-1109.

Pinto Puerto, F. 2013. Aportaciones al análisis constructivo de fábricas antiguas: La capilla de La Antigua de San Miguel en Morón (1538). *Informes de la Construcción*. Vol. 65, 530, pp.163-174,

Pinto Puerto, F. 2014. De pináculo a cono: transferencia e hibridaciones en los procesos de control geométrico y formal en la arquitectura del tardogótico. *Arquitectura tardogótica en la Corona de castilla: trayectoria e intercambios.* Editado por Alonso Ruiz, B. pp. 285-304.

Pinto Puerto, F., Barroso Becerra, M. 2018. Las bóvedas tardogóticas de San Mateo. Análisis formal y constructivo. La Parroquia de San Mateo de jerez de la Frontera. Historia, Arte y Arquitectura. Editum, Murcia. 323-384.

Rabasa Díaz, E., Alonso Rodríguez, M.A y Pliego de Andrés, E. 2015. Trazado de bóvedas en las fuentes primarias del tardogótico. Configuración tridimensional. *Actas del noveno congreso nacional y primer congreso internacional hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Vol. III. Instituto Juan de Herrera. Madrid. pp. 1399-1408.

Romero Bejarano, M. 2018. Gótico y Renacimiento en San Mateo. *La Parroquia de San Mateo de Jerez de la Frontera. Historia, Arte y Arquitectura.* Editum, Murcia. 243-322.

Romero Medina, R. y Romero Bejarano, M. 2018. Diego de Riaño y la obra de la parroquia de Santiago de Utrera. Notas sobre la influencia portuguesa en la arquitectura Bajo Andaluza del último gótico. *Materia. Revista Internacional d´Art.* nº 13. pp. 23-34.

Romero Medina, R. y Romero Bejarano, M. 2010. Un lugar llamado Jerez. El maestro Alonso Rodríguez y sus vínculos familiares y profesionales en el contexto de la arquitectura del tardogótico en Jerez de la Frontera. *La Catedral después de Carlín. Actas de la XVII Aula Hernán Ruiz*. Editado por Jiménez Martín, A. Sevilla. pp. 175-288.

La construcción de los hornos de calcinación de carbonatos de hierro en el Coto Minero Covarón de Muskiz, Bizkaia

Maider Beldarrain-Calderón

La invención del convertidor Bessemer en 1856 permitía fabricar acero en grandes cantidades y bajos costos, pero exigía el uso de minerales de baja ley fosfórica. Este requisito supuso un grave problema para la siderurgia extranjera, debido a que la mayoría de minerales de hierro europeos eran fosforosos. Tras realizar una búsqueda exhaustiva de los criaderos de mineral que contaban con estas características, se comprobó que los montes de hierro vizcaínos se encontraban entre los escasos candidatos existentes (Escudero 1994, 27-28).

El mineral de hierro vizcaíno era abundante, de gran calidad y con un bajo contenido en fósforo. Además, se encontraba ubicado en masas compactas superficiales y cerca del mar, lo que facilitaba su extracción y su transporte al extranjero (Pérez 2003, 70-71). Este mineral fue tradicionalmente clasificado en función de su calidad con los nombres de vena, campanil, rubio y carbonato. La vena era la variedad de hematites más preciada y contaba con una ley en hierro del 80 al 90%; el campanil también estaba constituido por hematites y poseía una ley metálica que oscilaba entre el 70 y el 90%; el rubio estaba formado por goethita y su ley férrea estaba comprendida entre el 72 y el 83%; y el carbonato correspondía a la siderita, que contaba con una escasa ley en hierro del 45 al 52% (Gil-Crespo 2016, 28-30).

A finales del siglo XIX se inició la explotación masiva de los yacimientos ferruginosos vizcaínos, lo que provocó el agotamiento progresivo de los óxidos más preciados; por esta razón, se comenzaría a explotar el hasta el momento discriminado carbonato de hierro. Este mineral era muy abundante, pero su baja ley metálica no permitía su empleo en el horno alto. Para hacer frente a este inconveniente, las empresas mineras se vieron obligadas a someter al carbonato de hierro a un tratamiento previo, que consistía en transformarlo en óxido mediante su calentamiento en los hornos de calcinación (Hernández 2002, 20). El carbonato era calcinado durante 24h a una temperatura inferior a los 900ºC utilizando como combustible el carbón mineral. Este procedimiento enriquecía considerablemente la mena, ya que eliminaba sus impurezas y aumentaba su ley metálica en un 10-20% (Pérez 2003, 100).

La explotación a gran escala de los carbonatos de hierro convirtió a los hornos de calcinación en la piedra angular de la minería del siglo XX. Durante casi un siglo, se construyeron en Bizkaia diversos hornos de calcinación que fueron evolucionando en forma, material y dimensión, adaptándose a los nuevos recursos industriales y optimizando el proceso de calcinación.

El Coto Minero Covarón

El Coto Minero Covarón, perteneciente a José Mac Lennan, estaba compuesto en 1899 por las minas Amalia Vizcaína, Complemento, Demasía a Complemento, Consuelo, Amalia 3ª y Demasía a Amalia 3ª.[1]Sin embargo, la principal actividad minera se

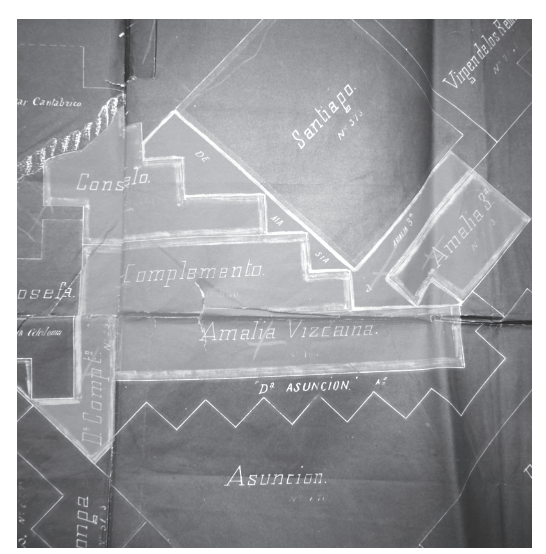


Figura 1
Plano del grupo de minas del Coto Minero Covarón de José Mac Lennan en el año 1899. (AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-12/C-319)

concentró en las minas Amalia Vizcaína, Complemento y Demasía a Complemento, siendo estas dos últimas las que contenían abundante mineral de hierro en forma de rubios y carbonatos (Gill 1896, 43).

La Compañía José Mac Lennan de Minas compitió a finales del siglo XIX con los grandes del sector minero como lo fueron la Sociedad Franco-Belga, la Orconera Iron Ore o José María Martínez de las Rivas (AAVV 2012, 459). No obstante, si por algo destacó la figura del ingeniero escocés en la minería del hierro de Bizkaia fue por su indudable carácter innovador en la aplicación de nuevas técnicas para el aprovechamiento de los minerales de menor calidad como lo fueron los carbonatos de hierro, ya que fue de los primeros en Bizkaia en realizar calcinaciones al aire libre y en construir en 1882 un horno de calcinación en sus minas de Covarón (González 1995, 33).

Durante el siglo XX, se extrajeron y calcinaron millones de toneladas de carbonatos de hierro en el Coto Minero Covarón, llegándose a construir por encargo del propio José Mac Lennan, hasta cuatro hornos de calcinación. El primero se construyó en la mina Demasía a Complemento, el segundoen la mina Amalia Vizcaína y los restantes en la mina Complemento. El horno de la mina Amalia Vizcaína era conocido como el horno nº1 y los de la mina Complemento como los hornos nº2 y nº3.

Horno de calcinación de la mina Demasía a Complemento

La mina Demasía a Complemento fue registrada en 1881 por José Mac Lennan en Covarón. Esta ampliación de la mina Complemento estuvo directamente relacionada con el arriendo que Mac Lennan realizó a Alfred Edwards de la mina San Franciscodel barrio Carrascal de Muskiz, ya que el mineral extraído en esta zona era transportado mediante ferrocarril a la mina Demasía a Complemento para que se ejecutarán las pertinentes labores de lavado y calcinación.[2]El ferrocarril que conectaba ambos espacios mineros fue construido por José Mac Lennan en 1887 y era popularmente conocido como la «Vía Chiquita».[3]

Una vez que los minerales habían sido tratados en la mina Demasía a Complemento, eran trasladados mediante otro ferrocarril hasta el cargadero costero de Pobeña, que José Mac Lennan había construido en la década de los 70 del siglo XIX para poder exportar al extranjero el mineral de manera independiente (Hernández 2002, 60). Actualmente, la mina Demasía a Complemento conserva los restos del lavadero y del horno de calcinación, ambos construidos con mampostería de piedra (AAVV 2012, 1: 480).

El primer horno de calcinación de carbonatos de hierro que se construyó en el distrito minero de Bizkaia, se le atribuye a Don José Mac Lennan, que en 1882 construyó un pequeño horno de mampostería de piedra en sus minas de Covarón. Sin embargo, este horno no fue considerado como el primero que se erigió con fines expresamente comerciales, ya que fue la Luchana Mining Company la que en 1891 construyó un horno de calcinación que producía diariamente alrededor de 130-150 t de carbonato calcinado. A partir de este momento, fueron muchas las empresas que comenzaron a construir estas estructuras en sus concesiones mineras, existiendo en 1896 hasta 15 hornos de calcinación funcionando en las minas de hierro vizcaínas (Gill 1896, 14-15).

En la tabla que redacta William Gill sobre los hornos de calcinación vizcaínos en 1896, no incluye el horno que José Mac Lennan construyó en Covarón,

HORNOS DE CALCINACIÓN EN FUNCIONAMIENTO EN BIZKAIA SEGÚN WILLIAM GILL EN 1896			
Fecha de construcción	**Propietarios**	**Nº de hornos**	**Producción diaria**
1891	Luchana Mining Company	1	130 t
1892-1895	Franco-Belgian Company	3	210 t
1893	Successors J.B. Rochet	2	150 t
1893	Messrs. Allende & Seebold	1	80 t
1893	Du Cosme Echevarrieta	1	80 t
1893-1894-1895	Messrs. Chavarri & Arana	3	200 t
1894	Orconera Iron Ore Company	2	156 t
1896	Somorrostro Iron Ore Company	1	75 t
1896	Du Fernando Alonso	1	70 t
		15	
HORNOS DE CALCINACIÓN EN FUNCIONAMIENTO EN BIZKAIA SEGÚN LUIS NÚÑEZ EN 1897			
Fecha de construcción	**Propietarios**	**Nº de hornos**	**Producción diaria**
1882	**D. J. Mac Lennan**	**1**	**-**
1891	Luchana Mining	1	130 t
1892-1895-1896	Sociedad Franco Belga	4	260 t
1893	Sucesores J. B. Rochet	2	150 t
1893	Señores Allende y Seebold	1	80 t
1893-1896	D. Cosme Echevarrieta	2	-
1893-1894-1895	Chávarri y Arana	3	200 t
1894-1896	Orconera Iron Ore	3	234 t
1896	D. J. Martínez Rivas	1	75 t
1896	M. Buena Fortuna	1	70 t
		19	

Tabla 1
Hornos de calcinación en funcionamiento en Bizkaia según William Gill en 1896 (Gill 1896, 15; Cárcamo 1988) y según Luis Núñez en 1897 (AHFB. BILBAO CUARTA 0328-010)

posiblemente por haberlo considerado como una estructura meramente experimental. Sin embargo, en el listado de 1897 que presenta Luis Núñez, si aparece incluido como uno de los que se encuentra en funcionamiento en esa época. También actualiza la tabla realizada por Gill, sumando un total de 19 hornos activos en Bizkaia en 1897.

Centrando la atención en el horno de calcinación que José Mac Lennan construyó en 1882, es necesario aclarar que la documentación existente sobre el mismo es más bien limitada. No obstante, existen documentos de la época que aportan datos de interés sobre el mismo. Gill realiza varias menciones al respecto: «The first kiln erected in the district was a small one of masonry built at Cobaron in 1882 by Mr. Joseph MacLennan»y «At Cobaron there is also a calcining kiln, the earliset in the province, built in 1882 of stone» (Gill 1896, 14-44). Por otro lado, Núñez también hace referencia a esta construcción: «Pequeño horno de mampostería que en 1882 elevó en el Cobarón Don José Mac Lennan».[4] Estas breves descripciones sobre el que fue considerado el primer horno de calcinación de carbonatos de hierro de Bizkaia, permiten ratificar las diversas similitudes que guarda con el horno de calcinación de la mina Demasía a Complemento.



Figura 2
Horno de calcinación de carbonatos de hierro de la mina Demasía a Complemento en Covarón. (Beldarrain-Calderón, 2016).



Figura 3
Horno de calcinación de carbonatos de hierro de la mina Demasía a Complemento en Covarón. (Beldarrain-Calderón, 2017)

El horno de calcinación de la mina Demasía a Complemento se encuentra semienterrado en una zona de gran desnivel, lo que permitía cargar el carbonato crudo por la parte superior y descargar el carbonato calcinado por la parte inferior. Es posible que la base o plaza de la cuba contara con un plano inclinado orientado hacia la boca de descarga inferior del horno. Esta puerta de descarga se encuentra ubicada en el alzado frontal y está ejecutada con un arco rebajado de piedra.

Este horno cuenta con una estructura cúbica de aproximadamente 4,50 m de lado y 6,50 m de alto. Los muros están ejecutados en su totalidad con mampostería de piedra de 1,30 m de grosor, a excepción de las esquinas y la boca de descarga que se han llevado a cabo mediante sillares. El interior del horno está compuesto por una cuba cilíndrica de 2 m de diámetro revestida con una capa de sillería de piedra natural de 0,25 m de espesor.

La ventilación de la combustión se llevaba a cabo de manera natural a través de la puerta de descarga y de cuatro pequeñas aberturas situadas en los alzados laterales del horno. Estas entradas de aire se ubicaban a diferentes alturas y eran muy habituales en las cubas de los hornos antiguos. Sin embargo, la práctica demostró que en la mayoría de los casos eran innecesarias, desapareciendo en la construcción de hornos de calcinación más modernos (Clemencín y Buitrago 1900, 195-199).

El revestimiento interior de estas estructuras se ejecutaba con una camisa dura y compacta de ladrillo o piedra refractaria de aproximadamente 0,30 m de espesor (Clemencín y Buitrago 1900, 198). Sin embargo, es posible que este horno de calcinación se ejecutara inicialmente sin revestimiento alguno debido a su antigüedad, pudiéndose posteriormente añadir una capa de material refractario de la que actualmente no hay rastro.[5]

El horno de calcinación de la mina Demasía a Complemento podría encajar con la descripción de «pequeño horno de mampostería que en 1882 elevó en el Cobarón Don José Mac Lennan», debido a quela mina se encuentra ubicada en Covarón y fue registrada por José Mac Lennan en 1881 (AAVV 2012, 1: 480). Esto hace pensar que el horno hubiera podido ser construido en 1882, ya que posiblemente en esa época el ingeniero escocés se encontrara diseñando y equipando la nueva concesión minera con las instalaciones necesarias para ponerla en marcha. Además, tanto las dimensiones como los materiales anteriormente citados, corresponden con los de un horno de calcinación de mampostería de piedra de pequeña envergadura.

Por otro lado, los hornos de planta cuadrada e interior cilíndrico coinciden con los más antiguos de Bizkaia (Villar 1994, 113). De hecho, fueron construidos a partir del conocimiento de los caleros tradicionales de la zona y de los hornos de modelo inglés Cleveland.[6] Por lo tanto, estas conclusiones han hecho que el horno de la mina Demasía a Complemento sea considerado como el primer horno de calcinación que funcionó en las minas de hierro de Bizkaia (Urdangarin e Izaga 2002, 22).

En la actualidad, este horno de calcinación lleva décadas abandonado, a pesar de que cuenta con una protección media por tratarse de un elemento afecto al Camino de Santiago, que fue calificado en 2012 como Bien Cultural, con la categoría de Conjunto Monumental a su paso por la Comunidad Autónoma del País Vasco.[7]

Horno de calcinación de la mina AmaliaVizcaína

La mina Amalia-Vizcaína fue demarcada en 1870,[8]adquirida por José Mac Lennan en 1871[9] e inscrita en el registro en 1880.[10] En esta concesión minera se construyeron a finales del siglo XIX un lavadero de mineral y el horno de calcinación de carbonatos de hierro nº1, ambos situados en un emplazamiento cercano a la mina Complemento.

En 1900, Ignacio Echeverría y Federico Grijelmo publican un nuevo listado de 33 hornos de calcinación que se encuentran en funcionamiento en las minas vizcaínas en el año 1899. Esta tabla actualiza las descritas con anterioridad y muestra que José Mac Lennan contaba en esa época con dos hornos de calcinación ubicados en las minas Amalia y Rubia.

HORNOS DE CALCINACIÓN EN FUNCIONAMIENTO EN BIZKAIA SEGÚN IGNACIO ECHEVERRIA Y FEDERICO GRIJELMO EN 1899			
Nombre de la casa productora	**Minas de donde procedían los carbonatos**	**Nº de hornos**	**Producción diaria**
Sr. Dario de Arana	Julia y Adela	4	252 t
Orconera Iron Ore C.º Limited	Orconeras y Conchas	3	225 t
Societé Franco-Belge des Mines de Somorrostro	Conchas	5	354 t
Sres. Sucesores de J.B. Rochet y Cª	Inocencia	2	150 t
Sr. Don José Martínez de las Rivas	Unión	1	80 t
Luchana Mining Cº	Juliana y Paquita	2	210 t
Sr. D. José Mac Lennan	**Rubia y Amalia**	**2**	**150 t**
Pedro P. de Gandarias	Segunda Elena Isabela	1 1 2	50 t 50 t 50 t
Luis Ocharan	Malaespera	2	120 t
Sres. Lezama Leguizamón	Silfide	1	40 t
Sr. D. Otto Kreizner	Confianza y Lorenza	2	90 t
Luis Núñez	Josefa, Carmen y Rosita	3	125 t
Sres. N. Seebold y Cº	Mendivil y Linda	1	55 t
Wright Butler & Cº L.d.	Primitiva	1	60 t
		33	

Tabla 2
Hornos de calcinación en funcionamiento en Bizkaia según Ignacio Echeverría y Federico Grijelmo en 1899 (Echeverría y Grijelmo 1900, 35; Cárcamo 1988)

Todo indica que se trata de dos nuevos hornos de calcinación que se construyeronentre1897 y 1899, ya que, en la tabla de Núñez,datada de 1897,sólo aparece reflejado el pequeño horno de Covarón, el cual no parece estar englobado en esta tabla debido a que la producción diaria de carbonatos de hierro de ambos hornos asciende a las 150 t, producción muy superior a la de un horno de carácter experimental. Por lo tanto, se puede concluir que entre los años 1897 y 1899 José Mac Lennan construyó dos hornos de calcinación con fines industriales, uno ubicado en lamina Amalia Vizcaína de Covarón y otro en la mina Rubia de Abanto-Ciérvana.[11]

El horno de la mina Amalia Vizcaína podría referirse al horno nº1 del Coto Minero Covarón. Se desconoce la fecha exacta de su construcción, sin embargo, que hubiera sido construido a finales del siglo XIX podría ser acertado, debido a que en 1897 José Mac Lennan presentó un proyecto de toma de aguas para el lavadero de la mina Amalia Vizcaína con un plano de situación en el que aparece reflejado dicho lavadero, pero no el horno nº1.[12] Ambas instalaciones se encontraban ubicadas a escasos metros, lo que podría significar que en esa fecha todavía no se había construido el horno en cuestión. Por otro lado, existe documentación de la época que verifica que en el 1898 se realizaban calcinaciones de carbonato de hierro en la Amalia Vizcaína,[13] lo que da a entender que esta mina contaba con un horno calcinación en sus instalaciones.

La documentación gráfica existente sobre el horno nº1 se limita a los planos de labores y a las pocas fotografías que se conservan del coto minero en las primeras décadas del siglo XX. Esta documentación, a pesar de ser escasa, permite comprobar la evolución del horno de la mina Amalia Vizcaína respecto al de la mina Demasía a Complemento.

El horno de calcinación nº1 también estaba ubicado en una zona de gran desnivel, sin embargo, en vez de estar semienterrado en el terreno, se encontraba alejado del mismo mediante un muro de contención. Esta nueva ubicación habilitaba completamente el perímetro inferior del horno, permitiendo la construcción de diversas bocas de descarga. Este horno de calcinación se cargaba por el tragante superior a través de dos pasarelas suspendidas y se descargaba por la zona inferior utilizando sus al menos tres bocas de descarga.

Tal y como se aprecia en la documentación gráfica, este horno contaba con una estructura troncocóni-

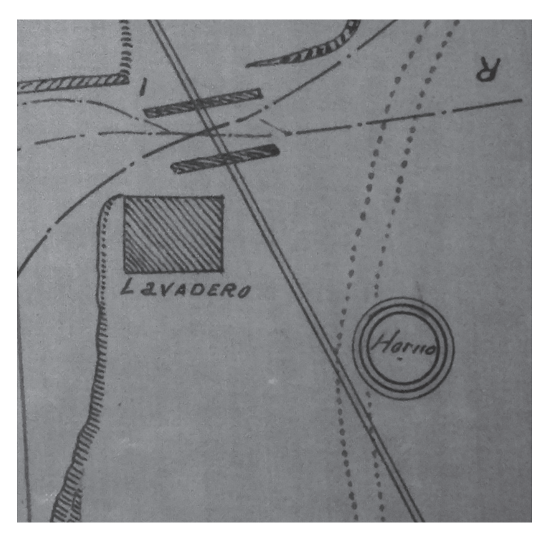


Figura 4
Plano de labores del Coto Minero Covarón del año 1905 en el que aparecen el horno nº1 y el lavadero de la mina Amalia Vizcaína. (AGGV. ELKAG-DE-C182-B4 -IN-PLB-00058-015)



Figura 5
Fotografía de principios del siglo XX en la que aparecen el horno nº1 y el lavadero de la mina Amalia Vizcaína. (Archivo Municipal de Fotografías Antiguas Muskiz. Fondo Mac Lennan)

ca de tamaño considerable, reforzada exteriormente con grandes anillos metálicos. Esta práctica era muy habitual en los hornos de este tipo, ya que los refuerzos metálicos daban resistencia a la estructura durante el proceso de calcinación. Desafortunadamente, no es posible detallar las dimensiones, los materiales oel sistema de ventilación del horno nº1, aunque es muy probable que estuviera construido con mampostería de piedra, tal y como se ejecutaron los hornos de Mac Lennan en el Coto Minero Covarón.

Según los planos de labores de la época, el horno nº1 estuvo en funcionamiento hasta aproximadamente 1911, ya que en el plano de labores de dicho año aparece representado como el «horno antiguo».[14] En los planos de labores posteriores seguirá reflejándose hasta 1916,[15] desapareciendo definitivamente en el plano de 1920,[16] lo que significa que el horno de la mina Amalia Vizcaína estuvo en desuso aproximadamente desde 1911 hasta 1916 y que fue derribado antes de comenzar la década de 1920.

La instalación del horno nº1 en la mina Amalia Vizcaína, muestra la intención de José Mac Lennan de construir un horno más actualizado y con más capacidad de calcinación que pudiera hacer frente tanto a la alta producción de carbonato como a las nuevas necesidades industriales que requería su coto minero. Actualmente la zona donde se encontraba el horno nº1 se encuentra oculta debido a las labores de acondicionamiento del terreno que se ejecutaron en la zona. Por lo tanto, no es posible distinguir con claridad la ubicación en la que se encontraba el horno nº1 de la mina Amalia Vizcaína.

Horno de calcinación de la mina Complemento

La mina Complemento fue demarcada en 1879,[17] incorporándose al grupo de minas del Coto Minero Covarón de José Mac Lennan. A principios del siglo XX se construyeron en esta mina dos hornos de calcinación de características similares, que fueron identificados con el nombre de horno nº2 y horno nº3.

En 1911, Julio Lazúrtegui elabora un listado de 45 hornos de calcinación que se encuentran en funcionamiento en 1910 en las minas de hierro de Bizkaia. En esta tabla se muestra que José Mac Lennan contaba con dos hornos de calcinación ubicados en Covarón y Pobeña.

El horno de calcinación nº2 pudo erigirse entre los años 1903 y 1905, ya que su proyecto de construcción data del año 1903[18]y en el plano de labores de 1905 aparece representado como el «horno nuevo».[19]El plano de labores de 1911 es muy significativo, ya que el horno nº1 aparece como el «horno antiguo» y el horno nº3 se encuentra ya ubicado junto al nº2.[20]Además, según esta tabla, la producción diaria de carbonato calcinado de ambos hornos ascendía a las 70 t, es decir, a la mitad de la reflejada por Echeverría y Grijelmo en 1899. Por lo tanto, todo indica que el horno nº3 sustituyó al horno nº1 en torno a 1910, y que los hornos a los que se refiere Lazúrtegui son los nuevos hornos de calcinación nº2 y nº3 de la mina Complemento.

La instalación de estas estructurasen la mina Complemento resulta de gran interés, debido a que no se limitó única y exclusivamente a la construcción de los hornos de calcinación, sino que se diseñó un sistema de carga y descarga del mineral que consistía en dividir el terreno en diferentes niveles para facilitar estas arduas tareas.

En el nivel superior se situó el depósito de carbonato crudo que estaba conectado con la zona de extracción de la mina Amalia Vizcaína mediante un plano inclinado. A su vez, este depósito estaba comu-

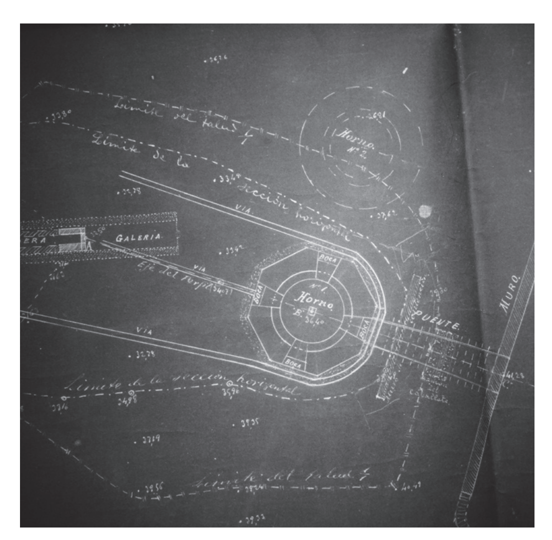


Figura 6
Proyecto de construcción del nuevo horno nº2 del año 1903 en el que se detalla en planta los hornos de calcinación nº2 y nº3. (AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-14/C-357)

HORNOS DE CALCINACIÓN EN FUNCIONAMIENTO EN BIZKAIA SEGÚN JULIO LAZURTEGUI EN 1910			
Nombre de la casa productora	**Minas de donde procedían los carbonatos**	**Nº de hornos**	**Producción diaria**
Compañía Minera de Arrázola	Grupo de Axpe-Arrázola	6	100 t
Sr. D. Luís Ocharan	Malaespera	1	50 t
Sres. Mac Lennan, Latorre y Garay	Primitiva	1	50 t
Sr. Don José Belausteguigoitia	Amelia	2	100 t
Luchana Mining Cº	Juliana	3	186 t
Luchana Mining Cº	Paquita	1	43 t
Sres. Zarobe e Iza	Peñasco de Mendiola	1	60 t
Sres. Chávarri Hermanos	Bilbao	2	140 t
Sociedad Franco Belga	Conchas	2	120 t
Sociedad Franco Belga	Concha 2ª	4	195 t
Sres. Chávarri Hermanos	Buena Estrella	1	33 t
Comisión explotadora de la 'Rubia'	Rubia	1	75 t
Orconera Iron Ore Cº Lº	Orconera	8	348 t
Sociedad Somorrostro Iron Ore	Unión	1	60 t
Explotación 'Mina Parcocha'	Parcocha	1	50 t
Sres. Chávarri Hermanos	Demasía Celedonia	3	60 t
Sr. D. Antonio López	Marta	1	50 t
Comisión Explotadora de la Safo y Catalina	Safo	1	50 t
Explotadores de la Reveñaga	Reveñaga	1	50 t
Sres. Chávarri Hermanos	Gallinar	1	35 t
Sr. D. José Mac Lennan	**Cobarón y Poveña**	**2**	**70 t**
Sociedad de la Mina Federico	Federico	1	40 t
		45	

Tabla 3
Hornos de calcinación en funcionamiento en Bizkaia según Julio Lazúrtegui en 1910 (Lazúrtegui 1911, 139; Cárcamo 1988)

nicado con el tragante superior de los hornos a través de pasarelas suspendidas que permitían realizar la carga de los mismos mediante vagonetas. En el nivel intermedio se encontraban ubicados los hornos de calcinación. Una vez que el mineral se encontraba calcinado se descargaba por las bocas inferiores y se acumulaba en el depósito de carbonatos calcinados situado frente a estas nuevas estructuras. Bajo este depósito se construyó una galería subterránea por la que las vagonetas vacías accedían y eran cargadas a través de varios nichos que la conectaban con el depósito de calcinado. Este último nivel se encontraba conectado con el ferrocarril que transportaba el carbonato de hierro calcinado al cargadero de costa de Pobeña.

Los hornos de calcinación nº2 y nº3 contaban con una altura de aproximadamente 14m, compuesta por una base octogonal de sillería de 5 m y una estructura troncocónica de mampostería de piedra de 9 m. En la base se encontraban situadas las cuatro bocas de descarga de arco rebajado que conectaban la cuba del horno con el exterior y que estaban do-

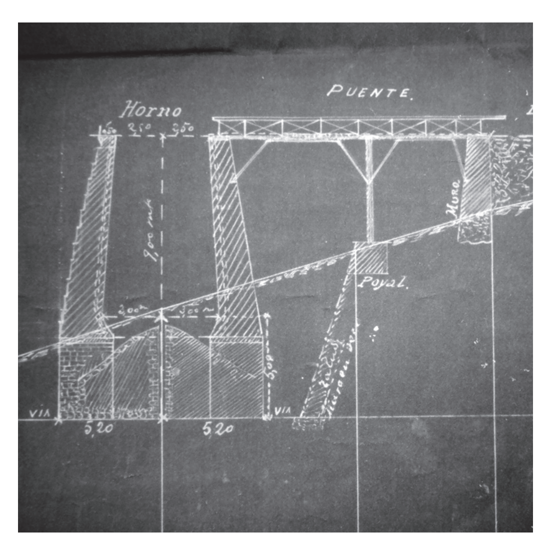


Figura 7
Proyecto de construcción del nuevo horno nº2 del año 1903 en el que se detalla en sección el horno nº2. (AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-14/C-352)



Figura 8
Fotografía de principios del siglo XX en la que aparece el horno nº2 de la mina Complemento durante su construcción. (Archivo Municipal de Fotografías Antiguas Muskiz. Fondo Mac Lennan).

tadas de compuertas metálicas practicables. El volumen exterior era escalonado, lo que permitía colocar en cada uno de los niveles zunchos metálicos que reforzaban la estructura de mampostería de piedra. La cuba interior también tenía forma troncocónica, con un diámetro de 6 m en la base y de 4 m en el tragante, y estaba revestida con una camisa de ladrillo refractario de 40 cm de espesor.[21]El tragante superior de los hornos estaba rodeado por una pasarela perimetral que permitía realizar las labores de carga del mineral de manera adecuada. También existía un puente suspendido que conectaba las zonas superiores de ambos hornos.

La base o plaza de la cuba estaba dotada de un cono o pirámide central que permitía dirigir el mineral calcinado de manera regular y a través de planos inclinados hacía las bocas de descarga. El cono generalmente se ejecutaba con arrabio fundido y la plaza se revestía con este mismo material o en su defecto con chapa, que era más económica (Clemencín y Buitrago 1900, 199).

La ventilación de estos hornos se ejecutaba de manera natural, sin embargo, la práctica había demostrado que para que la calcinación fuera más completa, lo más adecuado era que el aire penetrara en gran volumen por la parte inferior (Clemencín y Buitrago 1900, 199). En consecuencia, en vez de abrir diversas entradas de aire a diferentes alturas de la cuba como se hacía antiguamente, los hornos de calcinación nº2 y nº3 realizaban la ventilación a través de un conducto vertical situado bajo la pirámide central que a su vez estaba conectado con cuatro conductos horizontales que partían de pequeñas puertas practicables ubicadas bajo las bocas de descarga de los hornos.[22] En 1937, los hornos de la mina Complemento fueron dotados de un nuevo sistema de toma de aire asistido que se llevaría a cabo a través de las bocas inferiores de descarga.[23]

Los hornos de calcinación de la mina Complemento trabajaron calcinando carbonatos hasta 1933, momento en el que el Coto Minero Covarón cerró sus puertas para reabrirlas en 1937.Hasta el momento, un gran porcentaje del mineral era exportado al extranjero, sin embargo, el carbonato que se extrajo en esa época fue clasificado como de segunda calidad, lo que provocó la cesión de las exportaciones y la suspensión de los trabajos en 1940, volviéndose a retomar en 1947.[24]El decrecimiento den la calidad y la producción del carbonato hizo que en las últimas décadas se utilizara únicamente el horno nº3, mientras que el horno nº2 actuaba de reserva.[25]

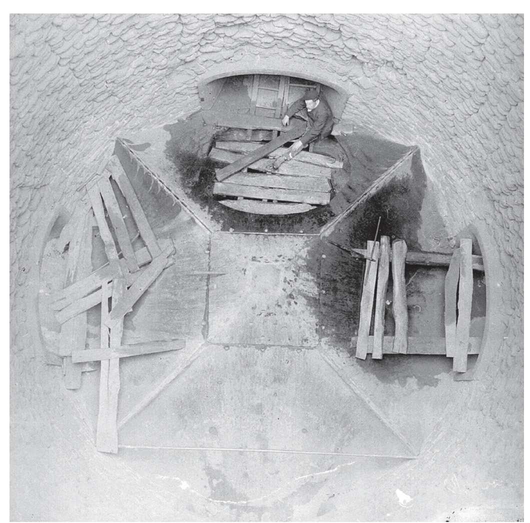


Figura 9
Fotografía de principios del siglo XX que podría mostrar el interior del horno nº2 de la mina Complemento durante su construcción. (Archivo Municipal de Fotografías Antiguas Muskiz. Fondo Mac Lennan)



Figura 10
Hornos de calcinación nº2 y nº3 de la mina Demasía a Complemento en Covarón. (Yaniz 1987)

A pesar de que en 1962 se modificara el sistema de carga de carbonatos calcinados ampliando la galería subterránea para realizar la carga del carbonato directamente sobre camiones y se levantaran las vías del tren para convertirlas en una pista apta para vehículos,[26]los hornos de la mina Complemento dejaron de funcionar definitivamente en 1963, momento en que el Coto Minero Covarón cesó la explotación debido a la crisis de la venta del carbonato calcinado.[27]

Mediante la construcción de estos dos hornos, José Mac Lennan no se limitó únicamente a mejorar el horno de calcinación nº1 en lo que al diseño y a la productividad se refiere, sino que ideó un elaborado sistema de carga y descarga que se valía de la fuerza de gravedad para optimizar al máximo el proceso industrial al que debía ser sometido el carbonato de hierro, desde su extracción en la mina Amalia Vizcaína, hasta su expedición al extranjero en el cargadero de Pobeña.

Actualmente, los hornos de la mina Complemento se encuentran visiblemente deteriorados debido a las décadas de abandono y al desmantelamiento al que fueron sometidos. Todavía mantienen su volumen original, aunque han perdido los elementos metálicos y los revestimientos interiores de ladrillo refractario. A pesar de que no sea fácil acceder a ellos debido a la vegetación, su imponente estructura aún es visible desde varios puntos de la población de Covarón.



Figura 11
Hornos de calcinación nº2 y nº3 de la mina Demasía a Complemento en Covarón. (Beldarrain-Calderón 2016)

Los hornos de la mina Complemento, al igual que el de la mina Demasía a Complemento, cuentan con una protección media por tratarse de elementos afectos al Camino de Santiago, que fue calificado en 2012 como Bien Cultural, con la categoría de Conjunto Monumental a su paso por la Comunidad Autónoma del País Vasco.[28]

Notas

1. Plano del grupo de minas del Coto Minero Covarón de José Mac Lennan. 1899. AHBBVA. Sig.2.4.6/L-12/C-319.
2. Ficha nº60Demasía a Complemento. 1990. Inventario de Bienes del Patrimonio Cultural del Gobierno Vasco.
3. Estudio histórico-arqueológico de los cotos mineros de Muskiz. 2014. Ondartez. Ayuntamiento de Muskiz. 48-49.
4. Instancia presentada por Luis Núñez para instalar un horno de calcinación en Basurto. 1897. AHFB. BILBAO CUARTA 0328-010.
5. Ficha nº 60.1 Horno de calcinación de la Demasía a Complemento. 1990. Inventario de Bienes del Patrimonio Cultural del Gobierno Vasco.
6. Cárcamo, J. 1988. *Hornos de calcinación en la minería de Bizkaia. Informe para una posible restauración de los pertenecientes a las minas José, Lorenza y Amalia Vizcaína*. Servicio de Patrimonio de la Diputación Foral de Bizkaia.
7. Decreto 2/2012, de 10 de enero, por el que se califica como Bien Cultural Calificado, con la categoría de Conjunto Monumental, el Camino de Santiago a su paso por la Comunidad Autónoma del País Vasco.
8. Plano de demarcación de la mina Amalia Vizcaína. 1870. AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-13/C-330.
9. Ficha nº 59.7 Horno de calcinación de la Amalia Vizcaína. 1990. Inventario de Bienes del Patrimonio Cultural del Gobierno Vasco.
10. Inscripción en el registro minero de la mina Amalia Vizcaína. AGGV. ELKAG-DE-C167-B4-INRMB-00074.
11. Estudio histórico-arqueológico de los cotos mineros de Muskiz. 2014. Ondartez. Ayuntamiento de Muskiz. 23.
12. Proyecto de toma de aguas para el lavadero de la mina Amalia Vizcaína. 1897. AGGV. ELKAG-DG-C45-B4 -AUCAB-00010-001.
13. Análisis de carbonato calcinado en la mina Amalia. 1898. AHBBVA. Sig. 2.4.7/L-3/C-24.
14. Plano de labores de las Minas de Covarón. 1911. AGGV. ELKAG-DE-C182-B4 -INPLB-00058-014.
15. Plano de labores de las Minas de Covarón. 1916. AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-12/C-316.
16. Plano de labores de las Minas de Covarón. 1920. AGGV. ELKAG-DE-C182-B4 -INPLB-00059-005.
17. Plano de demarcación de la mina Complemento. 1879. Coto Minero de Covarón. AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-13/C-328.
18. Proyecto de construcción del nuevo horno nº2. 1903. AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-14/C-352 y Sig. 2.4.6/L-14/C-357.
19. Plano de labores de las Minas de Covarón. 1905. AGGV. ELKAG-DE-C182-B4 -INPLB-00058-015.
20. Plano de labores de las Minas de Covarón. 1911. AGGV. ELKAG-DE-C182-B4 -INPLB-00058-014.
21. Proyecto de reparación de los herrajes del hornonº2. 1957. AGGV. ELKAG-DE-C91-B6-INPLB-00094-022. / Plano del horno nuevo nº2 y tipos de ladrillo. 1904. AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-13/C-337.
22. Plano de cimentación y elevación del horno nº2. Coto Minero de Covarón. AHBBVA. Sig. 2.4.6/L-14/C-353.
23. Ficha nº 59.7 Horno de calcinación de la Amalia Vizcaína. 1990. Inventario de Bienes del Patrimonio Cultural del Gobierno Vasco.
24. Plan de Labores de la mina Amalia-Vizcaína. 1949. AGGV. ELKAG-DE-C181-B6-INPLB-00010-004.
25. Proyecto de reparación de los herrajes del horno nº2. 1957. AGGV. ELKAG-DE-C91-B6-INPLB-00094-022.
26. Proyecto de modificación del sistema de transporte y carga de minerales del Coto Minero Covarón. 1962. AGGV. ELKAG-DE-C92-B4-INEMB-00136-002.
27. Comunicado del cese de la explotación en el Coto Minero Covarón. 1963. AGGV. ELKAG-DE-C92-B5-INEMB-00153-020.
28. Decreto 2/2012, de 10 de enero, por el que se califica como Bien Cultural Calificado, con la categoría de Conjunto Monumental, el Camino de Santiago a su paso por la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Lista de referencias

AAVV. 2012. *Patrimonio industrial en el País Vasco,* Vol. 6, Tomo 1. Vitoria: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Clemencín, P.M. y Buitrago J.M. 1900. *Adelantos de la siderurgia y de los trasportes mineros en el norte de España.* Madrid: Imprenta de San Francisco de Sales.

Echeverría I. y Grijelmo F. 1900. *Las minas de hierro de la provincia de Vizcaya, progresos realizados en esta región desde 1870 hasta 1899.* Bilbao: Imprenta y Litografía de Ezequiel Rodríguez.

Escudero, A. 1994. *La minería vizcaína y la industrialización del Señorío (1876-1936).* En *La cuenca minera vizcaína: Trabajo, patrimonio y cultura popular*, editado

por J. I. Homobono y Ferrocarriles de Vía Estrecha. Madrid: FEVE. Dirección de Comunicación.

Gil-Crespo, P.P. 2016. *Introducción a la geología y mineralogía de los yacimientos de hierro de Bilbao*. En *Historia del hierro en Bizkaia y su entorno*, editores Xabier Orue-Etxebarria Urkitza, Estibaliz Apellaniz Ingunza, Pedro Pablo Gil-Crespo, Universidad del País Vasco y Real Sociedad Vascongada de los Amigos de País. Bilbao: FEVE, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.

Gill, W. 1896. *The present position of the iron ore industries of Biscay and Santander.*The Journal of the Iron and Stell Institute.

González, E. 1995. *José Mac Lennan, un empresario montañés*. Cámara de Cantabria 32.

Hernández, A. 2002. *Cargaderos de mineral en la cuenca minera vizcaína: El cargadero de la Sociedad Franco-Belga.* Bilbao: Bilbao Ría 2000.

Lazúrtegui, J. 1911. *La Industria Minera de la Provincia de Vizcaya.* En *Geografía General del País Vasco-Navarro: Provincia de Vizcaya,* dirigida por Francisco Carreras y Candi. Barcelona: Establecimiento editorial de Alberto Martín.

Pérez, E. 2003. *Minería del hierro en los montes de Triano y Galdames*. Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia, Instituto de Estudios Territoriales de Bizkaia.

Urdangarin, C. e Izaga, J.M. 2002. *Quince oficios mineros.* Bilbao: Colegio de Ingenieros Técnicos de Minas del País Vasco.

Villar, J.E. 1994. *Patrimonio histórico-industrial de la cuenca minera vizcaína.* En *La cuenca minera vizcaína: Trabajo, patrimonio y cultura popular,* editado por J. I. Homobono y Ferrocarriles de Vía Estrecha. Madrid: FEVE. Dirección de Comunicación.

Las estructuras de cubierta de las iglesias salón columnarias tardogóticas de Valladolid

Rosa Bellido Pla
José Antonio Balmori

Una de las tipologías más representativas en la arquitectura del siglo XVI son las iglesias salón, templos de tres naves que se caracterizan por el arranque de sus bóvedas a una altura homogénea, sin escalonamiento entre la central y las laterales. La tipología salón proviene, según la mayor parte de los autores que la estudian, de la Hallenkirche alemana, aunque unos consideran probable su propagación a Castilla a través del levante y otros desde Borgoña hasta Burgos, y posteriormente al País Vasco (Muñoz 1996).

En el Compendio de Simón García ([1681] 1991), que en parte transcribe un manuscrito del siglo XVI del insigne maestro cantero Rodrigo Gil de Hontañón, se recoge un esquema de sección de iglesia con tres naves. En dicha obra se afirma que se trata de una solución mas eficiente que la escalonada: «Yendo asi a un alto es el edificio mas fuerte porque todo se aiuda uno a otro loqual no hace quando la principal sube mas».

Es evidente que las autoridades eclesiásticas que promovieron la construcción y readaptaciones de estos templos contaban con unos conocimientos teóricos de aritmética y geometría que debieron influir en sus preferencias y elecciones a la hora de seleccionar los modelos para sus edificios.

Según varios historiadores, el término columnaria data de 1923, cuando es empleado por Elías Tormo en su guía Levante (García-Sauco 1979). Es significativo cómo en estos templos se modifican con frecuencia las trazas iniciales durante la construcción, sustituyendo pilares fasciculados por columnas y bóvedas de crucería por bóvedas de cañón, manteniendo sin embargo sus características en cuanto a espacialidad y proporciones.

Diversos estudios han profundizado en el conocimiento a nivel local de las iglesias salón columnarias existentes en Guadalajara, País Vasco, Valencia, etc. Las características esenciales de estos recintos son constantes, independientemente de la región en que se desarrollen: claro espacio unitario con continuidad visual, iluminación desde los muros laterales, equilibrio entre alto y ancho, amplio aforo, diafanidad, pilares neutros que no establecen direccionalidad, etc. El modelo de iglesia salón se expande en un momento de pujanza económica que propicia la construcción de edificios monumentales, aprovechando la eficacia estructural y el menor coste que implica prescindir de los arbotantes al emplear contrafuertes o estribos que, en algunos casos, sirven al mismo tiempo de cerramiento entre las capillas laterales. El clasicismo rescatará más adelante el modelo de iglesia de una única nave con capillas hornacinas, la iglesia «sala».

En los últimos años se han desarrollado actividades de investigación y difusión específicamente centradas en la arquitectura tardogótica en la España del siglo XVI: conferencias, congresos y páginas web.

En todos los estudios se cita la obra de Georg Weise (1953) como pieza clave para el conocimiento de las iglesias salón en España, un catálogo con un centenar de fotografías, 50 plantas a escala 1:500 (cada una con su pitipié correspondiente) y una somera

descripción de cada templo. La mayor parte son iglesias parroquiales o Pfarrkirche, entre las que destacan, por sus mayores dimensiones, algunas colegiatas con capillas laterales, como las de Berlanga de Duero o Soria.

Aunque en 1522 ya se había implementado a gran escala en la catedral de Plasencia, es la citada Colegiata de Berlanga de Duero, que se levantó entre 1526 y 1530, obra del maestro cantero Juan de Rasines, la obra generalmente considerada precursora del modelo, pese a la afirmación de Hoag (1985) que marca el comienzo de la iglesia salón en San Antolín en Medina del Campo hacia 1503. Alonso (2003, 129) describe como «esos soportes cilíndricos y bóvedas estrelladas jugaron una gran influencia ... en lugares tan distantes como Arnedo, Simancas, Miranda de Ebro e incluso catedral de Santo Domingo (América) o algunas iglesias vascas». Castán (1992, 295) afirma además, sobre la extensión del gótico en Valladolid hasta principios del siglo XVII, que «el fuerte arraigo de la arquitectura gótica vallisoletana está en relación con lo tardío de su desarrollo cronológico ... desarrolla formas sólidas, simples, funcionales y desornamentadas, de acusado aspecto arcaizante, que arraigarán profundamente en una clientela de carácter popular, que es la que en estos dos siglos acomete la renovación de sus templos parroquiales».

Un aspecto singular de estos edificios es su gran tamaño, en contraste con las dimensiones de las poblaciones en las que se encuentran. Precisamente en el Compendio de Simón García se establece la relación entre el número de habitantes de la localidad en que se levanta una iglesia y su previsión de crecimiento con las dimensiones en planta de la misma. Estas iglesias cuentan con una nave central de entre nueve y diez metros con naves laterales a ambos lados en torno a seis metros, lo que determina la gran amplitud de los tejados a dos aguas que las cubren de lado a lado. Para hacernos una idea de las grandes dimensiones de estos templos podemos remarcar, por ejemplo, que son similares a las de la primera catedral que se levanta en América hacia 1512-1540, cuando el afán de unidad y marcar un sello propio había llevado a los Reyes Católicos y desde 1516 a Carlos I a promover importantes obras arquitectónicas empleando un «cuerpo de maestros constructores del mas alto nivel» (Flores y Prieto 2016).

Begoña Alonso (2003) recalca que, aunque se importen artistas extranjeros con modelos alemanes, también se produce innovación, el modelo salón columnario supuso una gran novedad técnica. Esta autora recalca que los soportes en Castilla son más anchos que en las Hallenkirchen alemanas. También afirma que «el triunfo de la tipología en la zona castellana viene de manos de Rodrigo Gil» entre 1529 y 1546.

Rodrigo Gil proyecta iglesias salón columnarias en 1529 en Villacastín, 1533 en Medina de Rioseco y Nava del Rey, 1535 en Cigales; simultáneamente empiezan a extenderse por Guadalajara, La Mancha, Madrid y Andalucía (Muñoz 1996).

Según las condiciones y pleitos transcritos y analizados por Vasallo y Pérez (2011, 48), en la iglesia de Mota del Marqués se intentó abonar a Rodrigo Gil unos honorarios inferiores a los acordados en origen justificando que el maestro visitaba hasta una treintena de iglesias y aprovechaba para recorrer varias en cada viaje: «la iglesia mayor de la ciudad de Salamanca, donde hera vecino e residía, ... y desde allí rregía más de otras treinta yglesias que tenía ... a su cargo, como tenía a la dicha yglesia de La Mota, a las cuales en cada un año yba a besitar una vez o quando mucho dos, deteniéndose un día o dos quando mucho, y por ello se le a acostumbrado a dar e a dado su salario por la dicha su yndustria ... en unas obras a ocho y en otras a diez mill maravedís, según distancia del lugar e calidad de la obra, y lo mesmo se usava con su padre Juan Gil, que hera del mesmo oficio e arte...».

Alonso (2003) explica que «la forma de interpretar el modelo templario de naves sin escalonar es diferente: Rodrigo opta mayoritariamente por el pilar cilíndrico con doble moldura como capitel, pero los tramos son cortos y anchos... unifica los arranques con el alfeizar de las ventanas y la línea de imposta que recorre el interior de los templos como ilustra en el *Compendio* y llega a aventurar que, según ella, «Rodrigo Gil no captó la esencia de las iglesias salón. Sus obras de esta tipología son cortas y bajas, de naves laterales perlongadas, de pilares anchos, sin una buena visión de las naves laterales».

Las bóvedas

En contraste con la afirmación anterior, el profesor Enrique Rabasa (2008) manifiesta que «la generación que comienza a protagonizar en el siglo XVI la construcción de bóvedas en España, vascos y cántabros,

ha aprendido bien la lección de los maestros extranjeros que fue necesario traer en el siglo XV. Su obra es variada, compleja y sabia, experimenta con las retículas de nervios y las adapta a condiciones muy diversas, y expone, incluso en los detalles meramente formales, los hábitos que hacen posible el sistema».

También el arquitecto Pablo Moreno Dopazo (2017) en su tesis sobre la obra de Rodrigo Gil concluye que, «tras sus elaborados diseños formales se ocultan técnicas ... orientadas a simplificar el trazado, la ejecución y el montaje, y muy eficaces en sus resultado». El maestro fusiona elementos de tradición tardogótica (ménsulas y baquetones en pilares fasciculados) con modelos espaciales y estructurales renacentistas. Emplea órdenes clásicos en ocasiones para configurar los soportes, pero no usa su diámetro para modular la arquitectura. La ornamentación se aplica sobre elementos aislados, es una arquitectura vinculada a la geometría con paños lisos.

En la tesis citada se representan un conjunto de secciones esquemáticas de iglesias sobre las que se analizan las proporciones del espacio, dibujando los contornos interiores de los muros de fachada, los ejes de pilares y el perfil de las bóvedas, sin información alguna sobre la geometría de las cubiertas de los edificios.

En cierto sentido, la representación gráfica de los templos empleada por Moreno coincide, por ejemplo, con la del citado libro de Weise (1953), en el que encontramos la proyección de los nervios de las bóvedas con la sección de los pilares y el perímetro interior de los muros, sin incorporar en las plantas ningún dato adicional. Este aspecto nos confirma que sus análisis abordan únicamente aspectos del espacio interior de los templos en el que se considera los paramentos interiores como la piel de un contenedor del que se desconocen sus características tectónicas básicas: grosores, materiales, sistemas constructivos.

Aunque se han llevado a cabo en los últimos años bastantes estudios sobre las trazas y monteas de las bóvedas de crucería, sus proporciones y el dimensionado de nervios y claves, en pocos casos se analizan sus procesos constructivos. Rabasa (2008) explica cómo las bóvedas se construyen tramo a tramo de forma independiente: «los diversos tramos son ejecutados como unidades, ... los perpiaños o fajones son, entre otras cosas, tapajuntas». En varios de los templos investigados se han llevado a cabo intervenciones que confirman que los tramos de bóveda son



Figura 1
Reconstrucción de bóveda en Nava del Rey, Navarro 1995 (Archivo Central de la Consejería de Cultura, Junta de Castilla y León)

estables de forma autónoma. Así en Nava del Rey, en 1995 con proyecto del arquitecto Luis Navarro (figura 1) se demuele y reconstruye la bóveda sobre el coro «copiando la contigua con ladrillo recibido sobre mortero de cal y ejecutada sobre cimbra» (Bellido 2016, III, FZ-30, 26).

En la parroquial de Mota del Marqués también se ha intervenido recientemente sobre las bóvedas, incrementando con gatos hidráulicos monitorizados el nivel de solo uno de los tramos sin afectar al resto.

Las cubiertas

Hay pocos análisis relativos a las estructuras de madera que conforman las cubiertas y, casi siempre, suelen ceñirse a casos en los que la techumbre presenta ciertas características formales o decorativas que la dotan de valor artístico, sin considerar la importancia que puedan tener desde el punto de vista de la historia de la construcción y la tecnología. Cuando los investigadores tratan de abordar el tema, con frecuencia encuentran dificultades para llegar a los espacios bajo cubierta o «camaranchones» que en algunos casos, incluso, carecen de acceso. Sobre el proceso constructivo de las cubiertas, encontramos en muchos casos referencias sueltas dentro de las descripciones generales de los diferentes estudios históricos. En la Iglesia de San Martín de Mota del Marqués «en 1550, se habían tomado las aguas y se

hacía el tejado. Estaba subida toda, excepto la portada, torre y sobrearco de la tribuna y sin cerrar el casco de las capillas, lo que indica que se levantaba antes el tejado que las bóvedas, seguramente para poder proteger éstas» (Parrado 1976, 81).

Castán (1990) nos aporta interesantes datos sobre el proceso constructivo de la iglesia de Nava del Rey para la que en 1560 toma posesión Rodrigo Gil, tras un pleito. Aunque no se cuenta con sus trazas y condiciones, sabemos que las bóvedas previstas sobre pilares de sección circular con arcos de medio punto, eran de crucería con terceletes y combados, nervios y claves de piedra de Salamanca y cascos de ladrillo y yeso. A su muerte en 1577 se suceden los inconvenientes hasta que Felipe de la Cajiga se hace cargo de las obras, pero en 1592 se derrumban el primer tramo de naves y la capilla mayor, que se levantarán de nuevo, tras diversos pleitos.

> El arquitecto rehízo la cabecera, levantó los pilares de piedra de las naves y sobre ellos los soportes de ladrillo que recibirían las armaduras de los tejados. Las bóvedas se voltearían todas a la vez, con el edificio cubierto. En julio de 1593 se contrataron treinta mil tejas cuya colocación estaba previsto comenzase en marzo del año siguiente, pero cambios introducidos en las cornisas de la nave y el retraso en la entrega de las trazas de los tejados dilataron las obras aun más. Estos no pudieron cerrarse conforme estaba previsto, y consecuentemente tampoco las bóvedas. En 1595 el edificio había por fin cubierto aguas y al año siguiente se hacían los abovedamientos (Castán 1990, 394).

Se ha tratado con frecuencia en los sucesivos congresos de Historia de la Construcción las atribuciones del arquitecto frente a la del maestro de obras, alarife, ... etc. Es evidente la alta especialización que alcanzaron los maestros canteros trasmeranos que trabajaron en la Valladolid del siglo XVI, formados desde la infancia en talleres articulados mediante lazos de parentesco. Las tareas de carpintería y albañilería solían contratarse a trabajadores locales, pero los maestros eran los responsables de la elaboración de las trazas y condiciones para llevar a cabo todos los trabajos. Según nos confirma Castán, las trazas de la cubierta de madera en los Santos Juanes fueron realizadas por el propio arquitecto, el maestro cantero Felipe de la Cajiga, y la falta de cierre de las cubiertas constituía un obstáculo para la ejecución de las bóvedas.

También el profesor Santiago Huerta (2013) hace hincapié en la necesidad de rematar las cubiertas antes de cerrar las bóvedas que se documenta, por ejemplo, en unas condiciones dadas en 1591 para la Catedral de Segovia. En el manuscrito se indica cómo deben disponerse las armaduras de cubierta sobre la zona interior de los muros perimetrales, prolongados hasta una altura suficiente para salvar el nivel de las claves de las bóvedas sin cargar sobre las mismas, formándose una caja con las esquinas reforzadas. Al final del documento en el que describe los procesos de proyecto y ejecución de Rodrigo Gil hacia 1550 a partir de su reproducción en el Compendio de Simón García de 1681, Santiago Huerta incluye un esbozo de cómo pudieron disponerse sobre los tirantes de las armaduras las grúas para izar los materiales con los que conformar las bóvedas.

También Hoag (1985, 28) afirma que:

> En España, como en el resto de Europa, era costumbre aplazar la construcción de las bóvedas hasta que las cubiertas de madera que iban sobre ellas estuviesen colocadas. A través de los dibujos y miniaturas que han llegado hasta nosotros, se demuestra claramente que esta costumbre duró mucho tiempo. Con frecuencia, la iglesia se utilizaba durante años antes de que las bóvedas fuesen construidas. Entre los numerosos ejemplos existentes, citaremos dos: San Antolín en Medina del Campo y Santiago en Medina de Rioseco. Cuando finalmente se añadían las bóvedas, rara vez respondían a aquellas proyectadas originalmente, incluso aunque se conservasen los planos, como sucedió en Segovia.

Los soportes

Según se ha comentado, es frecuente que los investigadores contrasten las medidas reales de los distintos templos con las descripciones geométricas del Compendio de Simón García. Recordemos que las dimensiones de estos edificios se concibieron en pies. Un pie castellano equivale a 0,278635m y tres de ellos forman una vara de 0,835905m.

Benito (2011, 263) aplica en su tesis doctoral la regla del Compendio en pies, para confirmar la concordancia de la fórmula con el diámetro del pilar en su base, confirmando la validez de la misma en el caso de la Catedral de Ávila. En las iglesias parroquiales analizadas en esta comunicación, sin embargo, es frecuente que los investigadores señalen la falta de

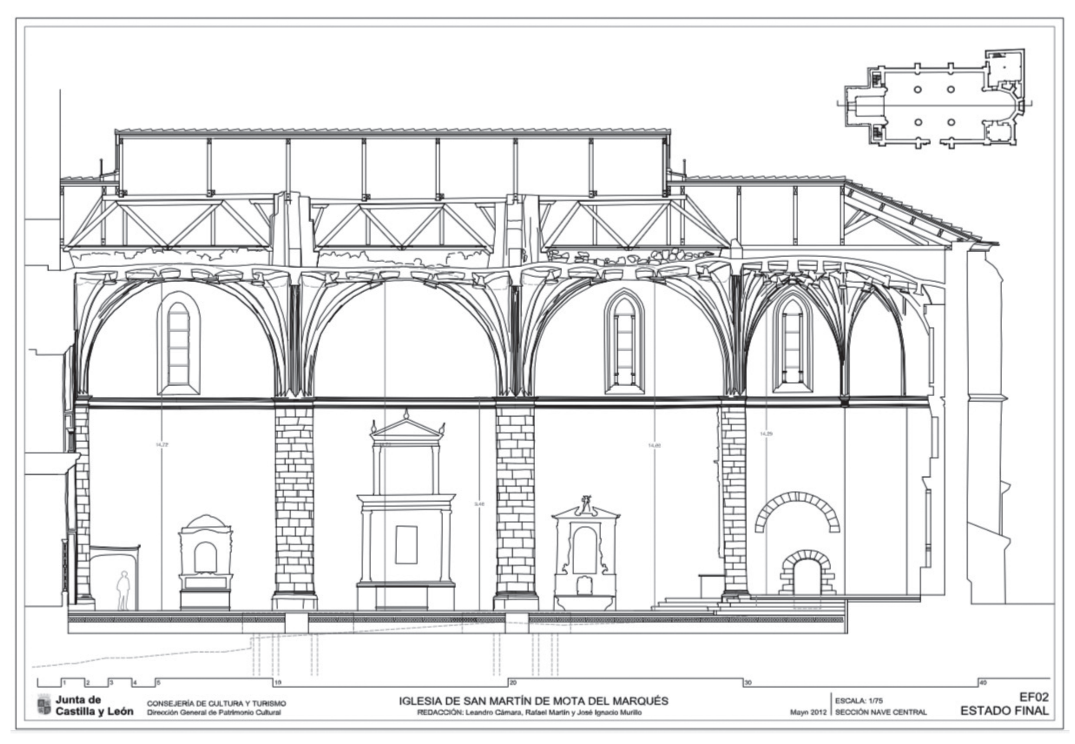


Figura 2
Sección longitudinal San Martín, Latorre y Cámara (Garcés)

concordancia del dimensionado a partir de la regla con las medidas ejecutadas. Moreno (2017, 171) llega a afirmar en su tesis que en Nava del Rey, por ejemplo, los pilares son muy gruesos porque pudo haber un error de calculo al usar la formula del Compendio.

Martin, Cámara y Murillo (2013, 626) también comprueban en una comunicación la fórmula del Compendio, concluyendo que en Mota del Marqués, con tramos de bóveda cuadrados de 34 pies de ancho y alto, los pilares construidos tienen 6 pies de diámetro en el fuste y 7 pies en el zócalo, secciones mayores a las que les corresponderían según el manuscrito, de 5 pies.

En cuanto al diseño de los pilares, en San Antolín (Medina del Campo) y Santiago (Medina de Rioseco) son grandes columnas con columnillas adosadas que se prolongan para formar las nervaduras de las bóvedas, mientras que en el resto de los casos se trata de sobrios fustes cilíndricos lisos con un anillo a modo de capitel y en el caso de Nava del Rey con un remate cuadrado.

En este conjunto de iglesias, sobre los ejes de pilares se disponen distintos elementos para proporcionar apoyos intermedios a las estructuras de madera que conforman las cubiertas. En los pilares de Mota del Marqués, por ejemplo, si contamos el tramo de fábrica por encima de la línea de imposta embebido en el arranque de las bóvedas, y su prolongación mediante machones de fábrica escalonados en el espacio bajo cubierta, prácticamente se duplica la altura del elemento (figura 2).

En la Colegiata de Berlanga de Duero los elementos que se alzaron en el bajo cubierta como prolongación de las columnas fueron pilares de sillería con un bastidor de madera en el remate, sobre el que apoya la estructura de madera que forma la cubierta, en algunos casos directamente y en otros mediante unos pies derechos enanos de madera agrupados (figura 3).

El atado

Además del plano intermedio de arriostramiento horizontal que proporcionan los cascos de las bóvedas, suele disponerse en estos templos un atado transversal ligeramente por encima del nivel de las claves, formado por tirantes de madera entre los machones o muretes sobre ejes de pilares. En la imagen de la Colegiata de San Antolín se pueden apreciar estos tirantes repartidos a lo largo de toda la nave central y unos cuadrales encastrados en los muretes transversales apoyados sobre los arcos fajones que separan los tramos de bóvedas.

Las pendientes

En los tratados de arquitectura de los siglos XVI y XVII se recomienda habitualmente para construcciones en España emplear el cartabón de cinco, que corresponde a 36º para trazar el perfil de las armaduras de cubierta, pero, aunque muchos autores insisten en que las cubiertas de monumentos respetan esa inclinación, en estas iglesias se ha documentado valores más tendidos, entre 20 y 30º (Bellido 2016).

Escrig y Pérez (2004) reconocen que «en cambio en España, Portugal e Italia las cubiertas son de pendiente menor, con valores que superan raramente los 30º. Los datos disponibles son sumamente escasos y los documentos de las restauraciones apenas prestan atención a estos sistemas, que parecen considerar carentes de valor artístico y por ello sustituibles sin consideraciones especiales».

Algunos ejemplos

Planteamos un breve recorrido por seis iglesias salón columnarias en la provincia de Valladolid cuyas obras fueron frecuentemente interrumpidas y objeto de pleitos, con modificaciones sustanciales en la decoración e, incluso, las dimensiones de sus fábricas. A través de los años han sufrido reformas, pocas veces documentadas, que dificultan la interpretación de sus procesos constructivos. En muchos casos se levantan sobre preexistencias y habitualmente intervienen varios maestros aunque, en estos ejemplos, se considera básica la actuación de Juan Gil de Hontañón en los dos primeros casos y de su hijo Rodrigo en el resto.

San Antolín en Medina del Campo

San Antolín en Medina del Campo es una iglesia gótica salón, con tres naves de igual altura cubiertas mediante bóvedas de crucería estrellada con combados, terceletes y ligaduras. Los pilares son cilíndricos, con columnillas adosadas que se prolongan en las nervaduras. La cabecera es rectangular de testero plano. Los muros de fachada son de ladrillo, con contrafuertes exteriores y pilastras hacia el interior y las portadas en piedra. La obra arranca en 1503 y posteriormente será dirigida por Juan Gil de Hontañón, que firma las condiciones de construcción de los muros del crucero en 1521.

En 1574 se dan las condiciones por las que el maestro carpintero Francisco Martínez construye cuatro de las bóvedas. En ellas se describe como se ejecutarán «los cascos de acitara de ladrillo, con una rasa en los arcos perpiaños y arcos cruzados por encima de la bóveda sobresaliendo una cuarta de alto». La crucería se compone por la parte inferior una vez hechos los cascos y las bóvedas, que se rematan superiormente con una capa de yeso, arena y cal bruñida.

Hasta 1999, cuando en Paniagua rebaja y homogeneiza los faldones, se producía un quiebro del plano de cubierta en ambos ejes de apoyo interiores, con incremento de pendiente en ambos extremos. Sobre los ejes de las cuatro pilas, revestidas de columnillas, que conforman el espacio de la iglesia, se disponían en el bajo cubierta dos muros de 70cm



Figura 3
Bajo cubierta Berlanga de Duero 2003 (fotografía de A. Basterra)



Figura 4
Bajo cubierta San Antolín antes de 1999 (Archivo Central de la Consejería de Cultura, Junta de Castilla y León)

de espesor con grandes aberturas, configurando una especie de filas de pilastras sobre arquerías. Los citados muros se remataban antiguamente con doble durmiente de madera, según se aprecia en la imagen siguiente (figura 4). En el nivel inferior de esta estructura bajo cubierta, además de las grandes vigas norte-sur, se contaba con los cuadrales reforzando los tramos de bóveda ya citados. Se disponían también cuadrales dobles en las esquinas del nivel superior, formando «la caja» mencionada en el Compendio.

Hoy encontramos estos muros rebajados, habiendo desaparecido el segundo nivel al reemplazarse la armadura por una estructura moderna de madera laminada con faldones planos.

El Salvador en Simancas

La parroquial de Simancas es una iglesia tardogótica columnaria de tipo salón, con tres naves y bóvedas de crucería estrellada (figura 5). «Todo el volumen se cubre a dos aguas mediante una de las pocas estructuras de madera que se conservan en la zona tras los numerosos reemplazos por acero y hormigón de finales del siglo pasado» (Bellido 2017).

La estructura de madera que cubre la iglesia del Salvador de Simancas es muy ligera, triangulada, y los machones de apoyo intermedio de la misma en el bajo cubierta, sobre los ejes de las columnas, son sencillos dados de fábrica de ladrillo (figura 6).

Santiago en Medina de Rioseco

La Iglesia de Santiago en Medina de Rioseco es otro ejemplo de salón columnaria que cuenta con tres naves de cuatro tramos cubiertas a la misma al-

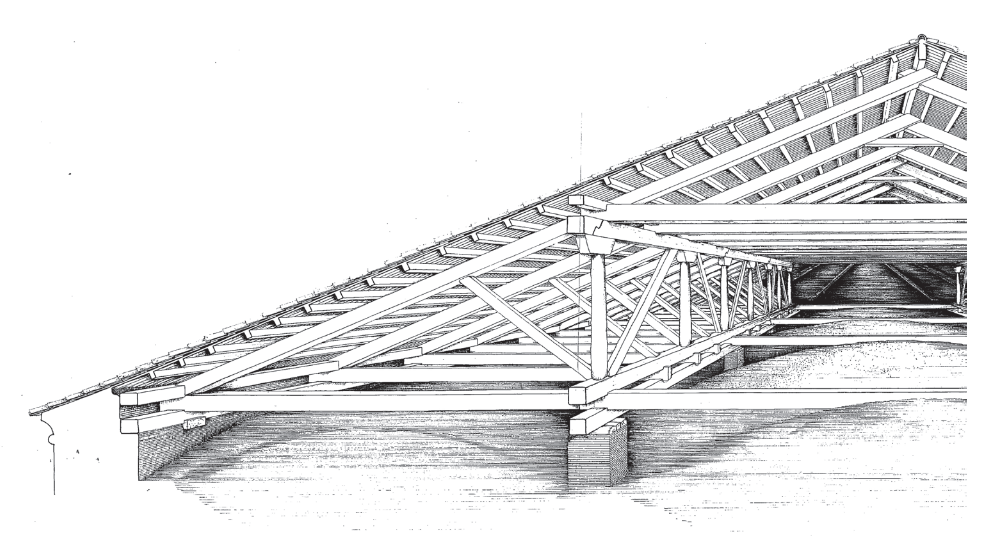


Figura 5
Perspectiva estructura de cubierta en Simancas, Ramón Duralde 1982 (Archivo de la Diputación de Valladolid)



Figura 6
Bajo cubierta en parroquial de Simancas, Ramón Duralde 1982 (Archivo de la Diputación de Valladolid)



Figura 7
Detalle bajo cubierta Santiago (fotografía de R. Bellido)

tura y separadas por pilares cruciformes. Las naves laterales se cubren con bóvedas de arista y la central con unas bóvedas con yeserías barrocas de 1673, sobre pechinas, muy peraltadas y espectacularmente policromadas, de planta elíptica excepto en pies y cabecera, donde son de media naranja gallonada. Rodrigo Gil traza este templo en 1533 y, a su muerte en 1577, prosigue la obra Juan de Hermosa. García Chico (1940) transcribe un documento del archivo parroquial que recoge cómo se abo-

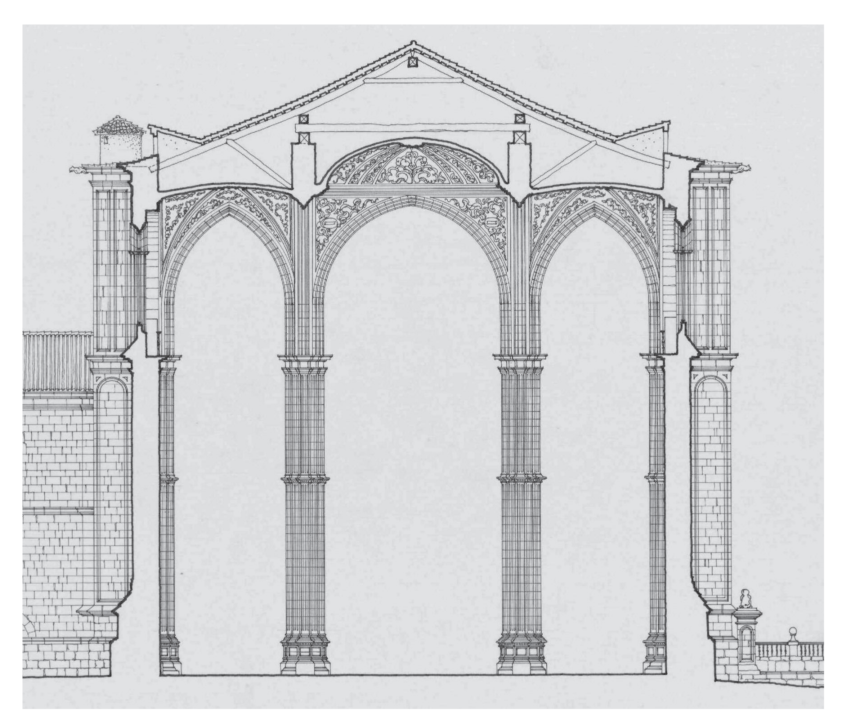


Figura 8
Sección transversal Santiago en 1977, Ana Iglesias (Planoteca IPCE)

nará la traza para acabar la iglesia a Alonso de Tolosa en 1586.

Entre 1977 y 1979 la arquitecto Ana Iglesias reemplazó la estructura de cubierta de madera sobre las naves laterales por perfiles de acero con tablero de nervometal y hormigón. Su proyecto contemplaba también la sustitución de la estructura sobre la nave central, que no llegó a realizarse. El perfil de las cúpulas, muy peraltadas y con acodalamientos de fábrica a modo de costillas, dificulta el tránsito por el bajo cubierta y pudo suponer una traba para desmontar la estructura que las cubre, contribuyendo a su conservación hasta nuestros días (figura 7).

Las columnas del templo se prolongan en el espacio bajo cubierta en forma de pilares cuadrados formados por sillares de piedra, sobre un murete bajo también de cantería. Los muretes de ladrillo que acodalan las cúpulas en diagonal acometen contra las esquinas de estos pilares. Hay unas vigas de madera longitudinales con unas sopandas intermedias sobre jabalcones, todo con potentes escuadrías, que apoyan sobre unas piezas de reparto, también de madera, dispuestas en la coronación de los pilares de piedra (figura 8). En algunos casos estas vigas o durmientes se empalman a media madera sobre el eje del pilar.

Santiago en Cigales

El párroco de Cigales recoge en su libro sobre la iglesia de Santiago (San José 1992) que las trazas y condiciones las da Rodrigo Gil en 1535. Tras pública subasta, la obra es ejecutada por el maestro cantero Juan de Sarabia, según la traza de Gil, que actúa como vehedor visitándola regularmente. En 1590 se levanta un paredón de adobe para separar lo nuevo, que tuvo una techumbre provisional de madera sin bóvedas. Hubo más trazas en 1591 y otras de Diego de Praves en 1606. Entre los gastos reflejados aparece un «paredón de ladrillo sobre las bóvedas en 1754». También se describe como en 1640 se abren siete troneras en el tejado de las que no encontramos vestigios. En 1952 se renueva gran parte de la madera de la estructura de cubierta, que finalmente es reemplazada por una nueva de hormigón armado en 1982.

El arquitecto J.A. Salvador describe, en la memoria del proyecto de 1992, como en ese momento «la techumbre está formada por cerchas de madera que apoyan en pilastras, en prolongación de los pilares», indicando que la nueva estructura de hormigón mantiene el esquema de la de madera, «se mantiene pues el sistema de tres crujías apoyadas en los muros perimetrales y en dos pórticos longitudinales que apoyan en los soportes de la Iglesia, evitando que las bóvedas soporten otro peso que el suyo propio» (Archivo de la Diputación).

Asunción en Laguna de Duero

Según la documentación histórica, la iglesia parroquial de Nuestra Señora de la Asunción en Laguna de Duero empieza a levantarse por la cabecera a finales del siglo XV, y se cuenta ya con unas trazas y condiciones cuando se adjudica la obra a Rodrigo Gil de Hontañón en 1536. El maestro la traspasa en 1544 a Ortuño de Marquina, Pedro Martínez de Cortabitarte y Martín de Ibarra, quedando pendiente aún, entre otras actuaciones, «cerrar todas las formas de la dha yglia e hasta el alto que tiene la capilla principal» (Pascual 2005, 89-98).

Cuando en 1983 el arquitecto Manuel Finat acomete la consolidación de esta iglesia, la cubierta se encuentra desmontada, con el trasdós de las bóvedas a la intemperie. Incorpora una nueva estructura de acero con menor pendiente, una capa de hormigón sobre las bóvedas tras descargar el relleno de los riñones, el habitual zuncho de hormigón armado en el perímetro y una cornisa de piedra de Hontoria. En la memoria del proyecto explica que llevan a cabo un «desmontaje de piedra natural en pilastras sujección de arranque desde pilares de la nave». (Proyecto en Archivo de la Diputación AI 004920)

San Martín en Mota del Marqués

La iglesia de San Martín en Mota del Marqués ha permanecido cerrada durante 30 años, desde su recalce con encepados y pilotes en los años noventa hasta la re-nivelación monitorizada de sus bóvedas en 2018. Es una iglesia de tres naves con tres tramos de pilares cilíndricos, y bóvedas de crucería con combados, levantada con algunas desavenencias entre canteros, bajo trazas y condiciones dadas por Rodrigo Gil en 1540 (Parrado 1976, 80).

Según se representa en el plano de sección reproducido en el apartado anterior, los elementos dis-



Figura 9
Pilares cruceta de fábrica de ladrillo, bajo cubierta Mota del Marqués (fotografía de R. Bellido)

puestos en esta iglesia sobre los ejes de pilares para permitir el apoyo de la estructura de cubierta son unas pilastras de planta cruciforme y desarrollo escalonado. Están formadas con fábrica de ladrillo pero presentan algunas piedras intercaladas en las aristas del núcleo central (figura 9).

Los Santos Juanes en Nava del Rey

La iglesia de los Santos Juanes en Nava del Rey cuenta con tres naves de igual altura cubiertas mediante bóvedas de cañón con lunetos, excepto tres de los espacios en la nave central, dos hacia la cabecera y otro a los pies, rematados con cúpulas. Hay capillas poco profundas entre los contrafuertes, y otras más amplias cubiertas con bóveda de crucería. Los muros son de sillería arenisca sobre tres hiladas de zócalo de caliza.

El monumento arranca en 1553 con trazas de Rodrigo Gil de Hontañón, a partir de unas preexistencias góticas. El proceso prosigue tras su muerte con

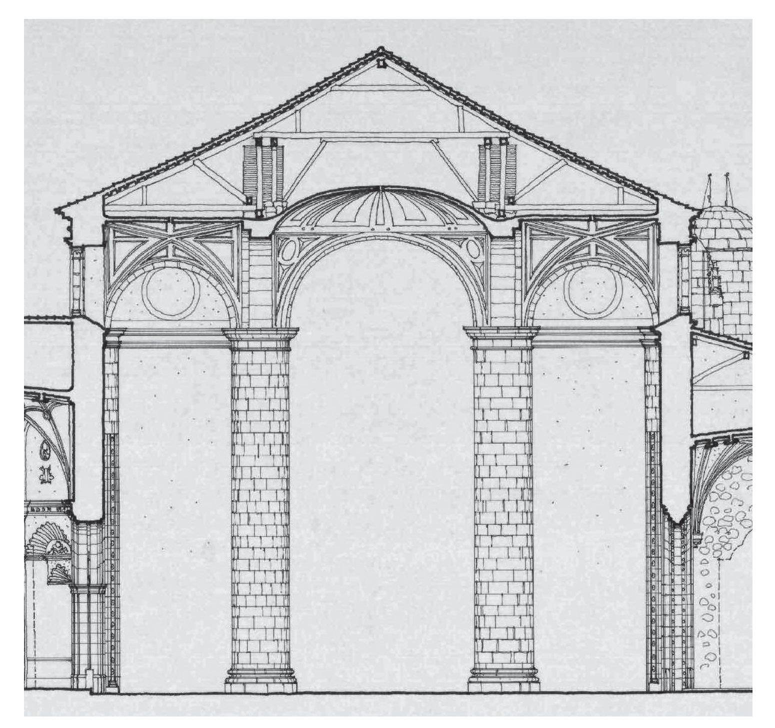


Figura 10
Sección transversal Santos Juanes, Ana Iglesias (Planoteca IPCE)



Figura 11
Machón de fábrica de ladrillo, bajo cubierta Santos Juanes (fotografía de R. Bellido)

la coronación de muros y el abovedamiento del templo hacia 1589 bajo la dirección de Felipe de la Cajiga. Según el pleito divulgado por Javier Castán (1990) ya mencionado, el edificio cubrió aguas en 1595 y un año después se construyeron las bóvedas.

La estructura de cubierta de madera presentaba dos niveles, con sopandas y jabalcones hoy desaparecidos (figura 10). En la memoria del proyecto de 1977, la arquitecto Ana Iglesias describe la historia del monumento y las obras a realizar, explicando que quiere mantener la armadura por ser «imponente», pero finalmente desmonta las «cerchas leñosas tipo paladiano con tirante ajabalconado en la nave central y semicerchas en cubrición de naves laterales».

En los machones que se prolongan en el bajo cubierta sobre los ejes de las columnas de la iglesia de los Santos Juanes hay dos rollizos cortados y, bajo los mismos, un relleno de piedras en la zona central de la fábrica, entre las que se aprecian lo que parecen restos de nervaduras (figura 11).

Conclusiones

Las cubiertas a dos aguas de las iglesias salón tardogóticas de Valladolid se levantaban antes de cerrar los cascos de las bóvedas. Las condiciones que constituían los contratos de obras del siglo XVI recomendaban levantar los muros en los que se asentaban las armaduras hasta salvar la cota del trasdós de las claves, para que las estructuras quedasen por encima de las mismas sin apoyar nunca sobre ellas.

En varias iglesias se prolongan los ejes de columnas en el bajo cubierta, sobre el trasdós de las bóvedas, formando pilares de sección cuadrada constituidos por sillares de piedra. En otras el recrecido se realiza con fábrica de ladrillo, desde pequeños dados hasta secciones cruciformes o potentes machones. En el caso de San Antolín en Medina del Campo incluso se levantaron unas arquerías de fábrica de ladrillo.

Los apoyos intermedios de las estructuras de cubierta se realizaban sobre estos elementos, disponiendo celosías de madera de gran canto en sentido longitudinal entre ellos cuando se trata de machones o pilares. En el caso de San Antolín solo fueron necesarios durmientes sobre las arquerías.

Apenas se conservan restos de estas estructuras de cubierta con grandes escuadrías de madera maciza, que han sido sustituidas en los últimos cincuenta años por soluciones metálicas, de madera laminada o incluso hormigón armado.

Los investigadores suelen centrar sus estudios en el espacio interior delimitado por las bóvedas, sin llegar a conocer los espacios bajo cubierta que, en ocasiones además ni siquiera cuentan con accesos. Los escasos vestigios que se mantienen son una muestra de sabiduría constructiva, por lo es importante potenciar su conocimiento y proteger las que se conservan.

Lista de referencias

Alonso, B. 2003. *Arquitectura tardogótica en Castilla: los Rasines*, a partir de la Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria.

Bellido, R. 2016. *El papel del zuncho en la restauración monumental: atado perimetral de estructuras de cubierta en iglesias de Valladolid*. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid.

Bellido, R. 2017. Nuevos datos para el análisis constructivo de las torres campanario románicas de Valladolid. La intervención en 1758 de tres monjes arquitectos en la iglesia del Salvador de Simancas. En *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional de Historia de la Construcción,* editado por S. Huerta, P. Fuentes y I. J. Gil Crespo, 163-173. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Benito Pradillo, M.A. 2011. *La catedral de Ávila: evolución constructiva y análisis estructural.* Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Castán, J. 1990. La polémica entre Gótico y Renacimiento en el siglo XVI: la iglesia de los Santos Juanes de Nava del Rey (Valladolid). *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, 56: 384-403.

Castán, J. 1992. Persistencia del gótico y su coexistencia con formas renacentistas en la arquitectura vallisoletana del siglo XVI. En *Actas IX Congreso del Comité Español de Historia del Arte (CEHA)*, 295-300. León: Universidad, Secretariado de Publicaciones.

Flores, V y E. Prieto. 2017. El modelo hallemkirche o iglesia salón en el Reino de Castilla de ultramar. La catedral de Santo Domingo, en *Obra Congrua, 1416. Simposio Internacional 16-21 octubre 2016,* editado por E. Rabasa Díaz, A. López Mozo y M. A. Alonso Rodríguez, 203-212. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

García, S. 1681. *Compendio de architectura y simetría de los templos conforme a la medida del cuerpo humano, por Simón García, architecto natural de Salamanca.* Año 1681. Ms. 8884, Biblioteca Nacional de Madrid (accesible en Biblioteca Digital Hispánica, www.bne.es)

García, S. 1991. *Compendio de architectura y simetria de los templos. 2 Tomos.* Valladolid: Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid.

García Chico, E. 1940. *Documentos para el estudio del Arte en Castilla. Tomo I. Arquitectos.* Valladolid: Universidad de Valladolid.

Hoag, J.D. 1985. *Rodrigo Gil de Hontañón. Gótico y Renacimiento en la arquitectura española del siglo XVI.* Madrid: Xarait.

Huerta, S. 2013. La construcción de las bóvedas góticas según Rodrigo Gil de Hontañón, arquitecto de la catedral de Segovia. En *Segovia: su catedral y su arquitectura Ensayos en homenaje a Antonio Ruiz Hernando,* editado por P. Navascués Palacio y S. Huerta, 107-133. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Martín, Cámara y Murillo. 2013. La iglesia de San Martín en Mota del Marqués (Valladolid). Proyecto y construcción. En *Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por S. Huerta y F. López Ulloa, 621-630. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Moreno, P. 2017. *Trazas de montea y cortes de cantería en la obra de Rodrigo Gil de Hontañón*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Muñoz Jiménez, J.M. 1996. Las iglesias salón en la provincia de Guadalajara. *Wad-al-Hayara: Revista de estudios de Guadalajara,* 23: 271-306.

Parrado, J.M. 1976. Antiguo Partido Judicial de Mota del Marqués. En *Catálogo Monumental de la provincia de Valladolid. Tomo IX.* Valladolid: Diputación de Valladolid.

Pascual Molina, J. F. 2005. Rodrigo Gil de Hontañón y el contrato para la iglesia parroquial de Laguna de Duero (Valladolid). *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología. Arte*, 71: 89-98.

Rabasa, E. 2008. La construcción medieval de bóvedas. En *Ars Mechanicae: ingeniería medieval en España*, 119-129. Madrid: Fundación Juanelo Turriano, CEHOPU.

San José Diez, M. 1992. *La parroquia de Cigales*. Cigales: M. San José.

Vasallo Toranzo, L y S. Pérez Martín. 2011 Rodrigo Gil de Hontañón en Valladolid. La iglesia de la Mota del Marqués. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología. Arte,* 77: 39-62.

Las atarjeas y sistemas de evacuación de agua en Vascos, Navalmoralejo, Toledo. Aliviaderos e ingenios estructurales de la fortificación andalusí

Miguel Ángel Bru Castro

El estudio de las diferentes evidencias arquitectónicas de las fortificaciones de Vascos, continúa resaltando la importancia, calidad constructiva y excepcionalidad de este emplazamiento de origen andalusí que venimos fechando entre el siglo VIII y el XI (Izquierdo Benito 2005; Bru Castro 2016b; De Juan Ares 2016).

Existen diferentes elementos arquitectónicos que sirven para la seriación e individualización tipológica, pero además nos enseñan la pericia constructiva que alarifes y 'protoarquitectos' (Gurriarán Daza 2004, 8) desarrollaron para la planificación, diseño y edificación de este conjunto defensivo.

La elección del emplazamiento no se debió a la facilidad topográfica del lugar, sino a motivos geoestratégicos, fiscales y relacionados con el asentamiento inicial de nuevos contingentes militares en la Península Ibérica, motivos que exceden la intención de este artículo y que ya hemos planteado previamente (Bru Castro 2016a). La evolución constructiva y el éxito de ese primitivo asentamiento, llevó a la construcción de una alcazaba y unas defensas, que si bien en cronología emiral tenían cierta proyección, será en época califal cuando observaremos una planificación de la obra en todas sus facetas, con una pormenorizada distribución de elementos constructivos y en fin, una periciaque revela el grado de complejidad que alcanzó la sociedad andalusí. En este artículo vamos a observar, los sistemas pasivos de prevención y protección para las avenidas de agua en las defensas de Vascos, necesarios ante la compleja topografía del asentamiento, pues de haber obviado su presencia, la muralla formaría una auténtica barrera – presa, de solución fatal para los materiales utilizados y los fines de la construcción.

Orografía y topografía

El recinto murado de la madīna de Vascos se encuentra enmarcado por tres accidentes topográficos, el mayor situado al norte se configura por el río Huso, a poniente por la irregular vaguada del Arroyo de la Mora, y a oriente por una de las torrenteras que caracterizan el perfil geológico del entorno. La zona meridional sin embargo presenta un perfil más llano, aunque se encrespa en dirección al cerro superior entre peñones graníticos a 446 m.

El perfil topográfico del terreno es muy abrupto y destaca por dos puntos de elevada consideración, uno al norte, el cerro donde se asienta la alcazaba y otro al sur, el punto más alto de la construcción. Entre medias y como se observa en la figura 2, nos encontramos con pendientes irregulares, en algunos casos llanas, en otros muy abruptas, sobre las que hubo de planificar la construcción. Destaca especialmente el sector izquierdo de la figura, donde se enmarcan las Puertas Sur y Oeste, especialmente desde la torre 10 en la que la muralla desciende por una ladera irregular y compleja con grandes e irregulares bolos y lanchas graníticas, auténticas paredes que obligan en las vaguadas a incrementar los sistemas pasivos de protección de la muralla.

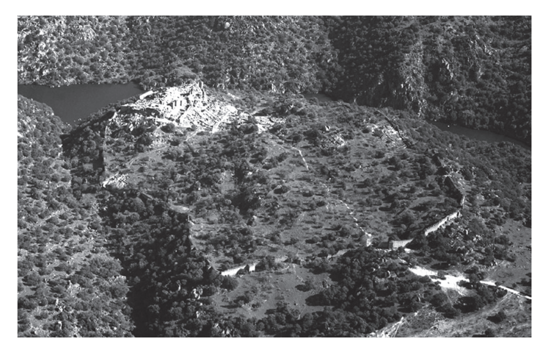


Figura 1
Imagen aérea del conjunto de Vascos

Sistemas pasivos de prevención y protección de la muralla

Dentro de los medios dispuestos para prevenir la acción de las venidas excepcionales, pero también para el encauce regular de evacuación de agua, podemos distinguir entre lo vanos principales, puertas y portillos y vanos más pequeños, los aliviaderos o atarjeas.

En cuanto a las puertas y portillos, queremos destacar que más allá de la función primordial de paso, tienen especial relevancia en nuestro estudio, por su ubicación. La mayor parte de estos vanos se sitúan en puntos bajos y donde la salida natural del agua plantea la necesidad de construir un punto abierto; de hecho, cuando estos vanos han quedado cegados, generan al interior una imponente cuenca deposicional de arcillas y tapiales, como se puede ver en los portillos 2 y 5. De los siete portillos documentados, solamente uno no cumple esta función, el p4, mientras que el resto de accesos que encontramos en las murallas tuvieron una clara observación a la necesidad de evacuación de aguas.

Queremos hacer mención a las puertas y en especial, la que denominamos como Puerta Oeste (PO), una obra maestra de arquitectura (Bru Castro 2016b, 240; Pavón Maldonado 1987, 365; Caballero Zoreda 1989, 120; Márquez Bueno y Gurriarán Daza 2011, 188), ubicada en una profunda vaguada sobre bolos graníticos, y que encauza el agua de gran parte del sector noroeste de la *madīna*, tal es así, que se labró un canal en la Roca Madre, que permitía desviar la corriente del paso principal. De esta forma, desde el interior de la ciudad se encauzaba por una de las calles principales empedradas descendiendo sinuosamente hacia la PO.[1] Al atravesarla se encontraría justo en frente un bolo granítico y para evitar que el agua tomase una mayor fuerza por la pendiente y

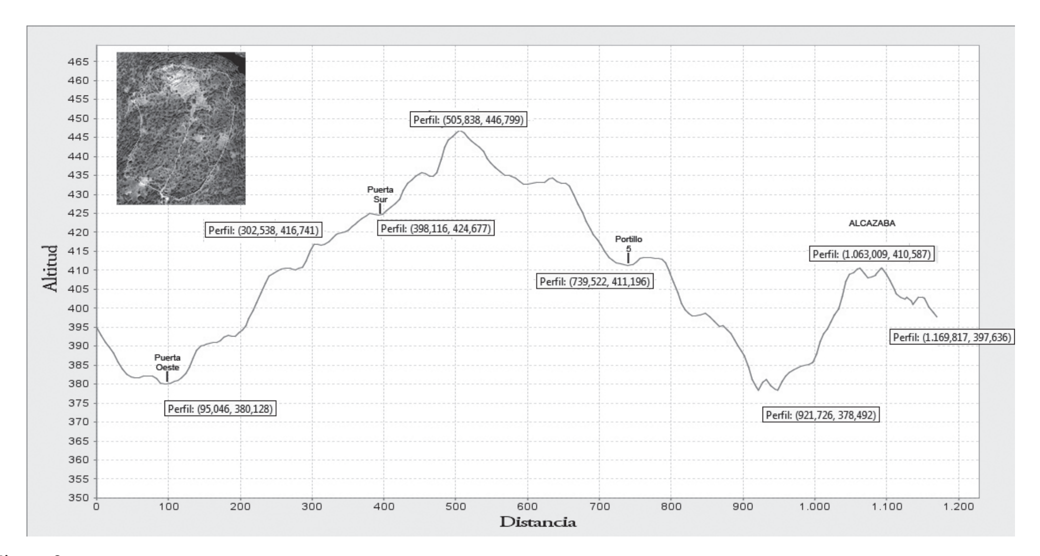


Figura 2
Diagrama del perfil topográfico del terreno donde se asientan las fortificaciones de Vascos. En la ortofoto se señala en azul el recorrido del modelo topográfico

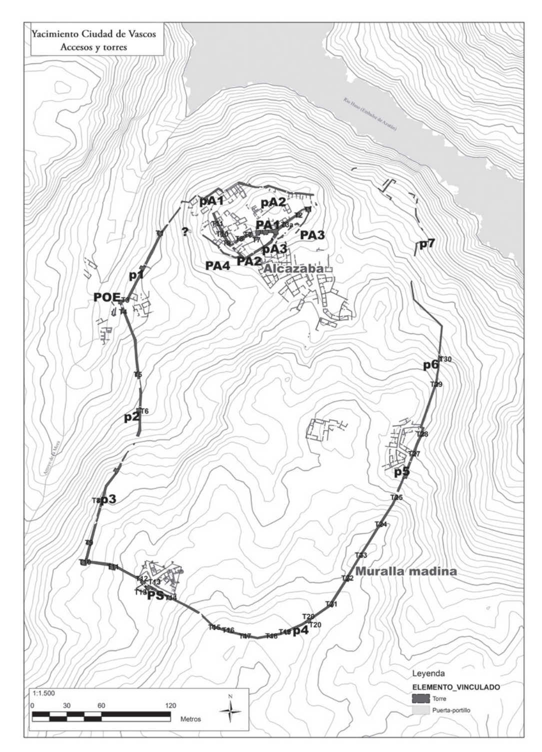


Figura 3
Plano de Vascoscon curvas de nivel cada 20 m., elementos hidrográficos, contorno de la muralla, torres y accesos



Figura 4
Colmatación al interior de la muralla en el portillo 3.Puede observarse la potencia estratigráfica generada al cegarse el vano del que se aprecia solo el dintel y al que faltan casi dos metros de estratigrafía. En la ya excavada, se observan en el perfil, los limos de los tapiales de todo el sector donde se encuentra el p3 que hace de cuenca deposicional

afectara a la barbacana y a la zona del *hammam,* se labró un canal de desviación de 0,44 m de ancho, 2,49 m. de largo y con0,19 de profundidad. Realizar esta aparente simple acción demuestra el interés y conocimiento del control de los cauces de agua, que a expensas de una excavación entre la barbacana y el *hammam*, podría servir también de forma de control y almacenamiento de agua.

En los portillos documentamos como el agua proveniente del interior se encauza hacia el vano, para lo que se realiza un muro interior (p1 – UEM 16/ p3-UEM 8919), que dirige la aguas hacia el vano, observándose también una función defensiva, pues de entrar por un portillo el enemigo se encontraría en bajo y en el cuello de un embudo. Llama la atención como en el portillo 1, el vano no fue suficiente para la evacuación de aguas, por lo que observamos la necesidad de apoyar esta función con una atarjea de gran tamaño (A5) – Figura 9.

Sin embargo encontramos otros portillos, como el p5 en el que no se ha observado presencia cercana de ese muro, aunque cabe destacar que las dos calles que dan al acceso encauzan y organizan el entramado urbano de tal forma que el agua tiende a evacuar por este portillo. Más directa es la presencia de una atarjea frente al vano, que demuestra la necesidad de canalizar las aguas hacia este punto. Este vano portillo y la articulación de este barrios son muy interesantes, porque nos encontramos con uno de los sectores primigenios de la muralla, tanto que será recrecido en altura el portillo, y la posible transformación del sector demuestra al menos dos fases, evidenciadas también por la diferente distribución de los sistemas de evacuación de agua (Izquierdo Benito 1994).

En cuanto a la alcazaba, la sucesión de recintos defensivos y de protección del conjunto edilicio, demuestran una articulación de los vanos en los laterales del cerro y su ubicación en estos “cuellos de embudo”. En la construcción – ver figura 3- se tuvo cuidado en orientar las bajantes de agua, desde la puerta principal de acceso al recinto PA1 hacia el oeste, haciendo un codo con la mezquita, atravesando la PA2, y describiendo un giro en para evacuar por la puerta de la barbacana PA4. Pero además, frente y bajo la PA1, se construyó primero un recinto –barbacana, acitara o albacar- (Bru Castro 2016b, 257) con un potente muro,



Figura 5
Imagen cenital del canal labrado al exterior de la Puerta Oeste

en el que se practicaron sendas atarjeas –AA5 y AA6- que permitían la evacuación del agua que pudiera exceder del anterior paso y también que se recogían en estos recintos. El agua proveniente de estas atarjeas era a su vez encauzada en el barrio bajo los pies de la alcazaba. Sin embargo, cuando estos recintos se techan, para la construcción de una mezquita, estas atarjeas parece que pierden su función inicial y esto, se traduce, en que en el barrio inferior se transforman las canalizaciones.

Con todo esto vemos como el diseño y planificación de los vanos de las defensas de Vascos, excedían del plano puramente defensivo y configuraban una articulación donde la construcción en si misma debía servir de forma pasiva a la evacuación de aguas. Pero como no en todos los sectores podía crearse un vano, precisamente para la defensa de la *madīna*, se acudía a unos ingenios constructivos que permitían la evacuación del agua, las atarjeas.

Atarjeas

El término atarjea proviene según el diccionario de la RAE del árabe hispano *attašyí*‘, y éste del árabe clásico *tašyī‘* "acompañamiento", designando:

1. f. Caja de ladrillo con que se visten las cañerías para su protección.
2. f. Conducto o encañado por donde las aguas de la casa van al sumidero.
3. f. And., Can. y Méx. Canal pequeño de mampostería, a nivel del suelo o sobre arcos, que sirve para conducir agua.

Como vemos la propia palabra tiene un origen etimológico andalusí, en nuestro caso,estos ingenios, tendrían más relación con la tercera acepción y son fundamentales para la conducción del agua al exterior de la muralla.

Podemos distinguir según las excavaciones arqueológicas que llevamos hastael año actual 2019, al menos nueveatarjeas en la muralla de la *madīna* y cinco en la alcazaba (Figuras 6 y 7).

Cabe destacar que las que se encuentran en la muralla de la *madīna*, se ubican solamente en el sector septentrional de la misma, no habiéndose encontrado ninguna en el lado sur, probablemente por no requerirse por la orografía y dirección de las pendientes. De ellas de la A1 a la A5, se concentran en el lado oeste de la muralla en el sector mejor diseñado y construido, siendo semejantes las que encontramos en el sector oeste, A6 y A7. Por último A8 y A9, se encuentran en mal estado y requieren de una intervención en el sector.

En cuanto a la alcazaba, distinguimos de la AA1, AA2 y AA3 en el sector noroeste del recinto principal, parte más baja y abrupta del conjunto, que junto al portillo pA1 sirven de evacuación al abrupto escarpe hacia el río Huso. Por último, y vinculado a las defensas, encontramos las dos atarjeas que hemos descrito precedentemente, en el muro sur de la alcazaba y que da hacia la *madīna*, la AA5 y la AA6.

Por criterios constructivos, estratigráficos y de datación arqueométrica (Bru Castro 2016b, cap. VI) podemos distinguir que las de la Alcazaba son de cronología emiral, probablemente mediados del siglo VIII, frente a las de la muralla que son de cronología califal mediados del siglo IX. Esta diferencia contrastada por relaciones estratigráficas y arqueométricas, queda además evidenciada por la diferente factura y calidad constructiva de unas frente a las otras (Se puede observar y contrastar en las figuras 8 a 11).

Las atarjeas de la alcazaba si lo vemos en criterios formales, son más toscas y sus perfiles tanto exteriores como interiores son muy irregulares como se ve en la figura 6, además la pendiente es directa en todas menos en AA3, que presenta un pequeño rellano de frenado de la salida. La cubrición de las mismas no es depurada y es bastante irregular. En cuanto a

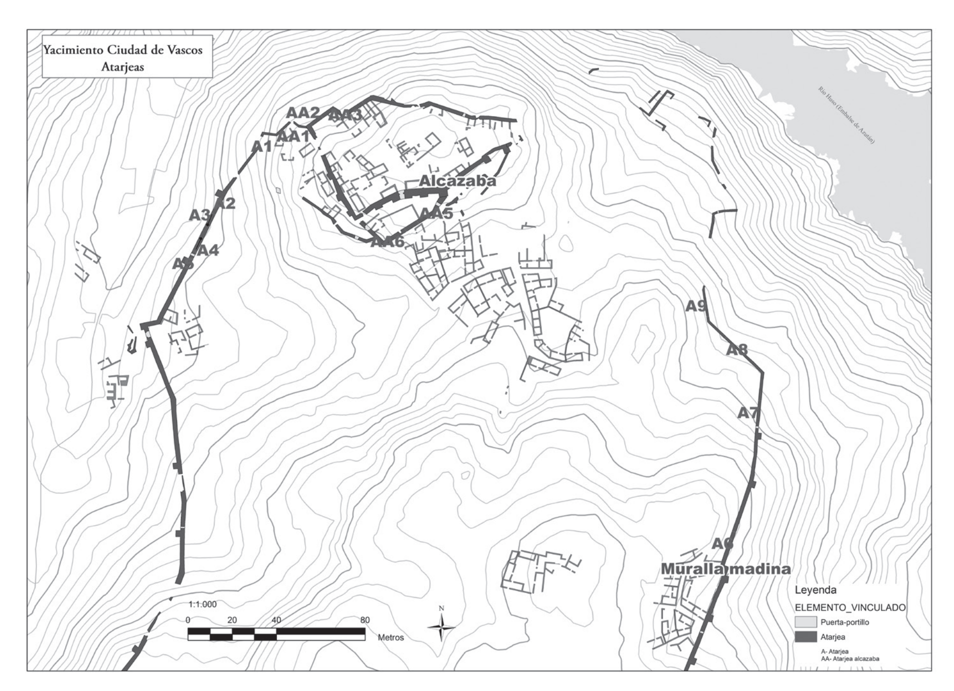


Figura 6
Plano de ubicación de las Atarjeas en el yacimiento de Ciudad de Vascos

NOMBRE	UEM	Altura		Anchura		Profundidad	Ángulo aproximado derrama
		Exterior	Interior	Exterior	Interior		
A1	108	0,4	x	0,17	x	1,6?	40º
A2	1206	0,53	x	0,2	x	1,84?	30º
A3	1211	0,43	x	0,11	x	2,07	?
A4	1212	0,4	x	0,23	x	?	?
A5	**1213**	**0,41**	**0,74**	**0,18**	**0,28**	**2.16**	**5,23º**
A6	282909	0,5	x	0,22?	x	?	?
A7	300055	0,56	x	0,2		?	?
A8	300021	0,54	x	0,24		?	?
A9	300028	0,34	x	0,24		?	?
AA1	111234	0,59	0,45	0,19	0,24	1.52	26º
AA2	12101	0,63	0,42	0,26	0,25	1,54	37º
AA3	12132	0,65	0,4	0,3	0,27	1,82	30º
AA5	229	0,47	?	0,23	0,24	1.88	17,07º
AA6	239	0,6	?	0,22	0,21	2.10	28,2º
Promedios							
A		0,457	0,740	0,196	0,280	2,070	
AA		0,588	0,423	0,240	0,242	1,680	

Figura 7
Tabla con medidas de las atarjeas de la muralla y la alcazaba de Vascos

medidas son más anchas y más verticales que las de la muralla, tanto al interior como al exterior, teniendo mucha altura y anchura fuera de la atarjea, aspecto que descuida la protección del conjunto defensivo (Figura 7).

Las atarjeas de la muralla sin embargo destacan porque parecen que responden a un parámetro constructivo más o menos uniforme, al interior son más anchas y altas en promedio que al exterior que se cierran y son más estrechas que las anteriores, con un fin de cerrar más el vano al exterior, pero también de canalizar en parte la salida.

Respecto a la factura son claramente dispares con respecto a la alcazaba, responden al plan constructivo de la muralla, ya no solo por su ubicación, sino por la propia construcción. En ellas, se respeta en fachada tanto interior como exterior la altura de hilada y se integra en la construcción perfectamente, solamente destacando en algún caso por una piedra de mayor tamaño que sirve de dintel. Es sin embargo en el núcleo de la muralla donde reside la mayor complicación y arte de estos ingenios. Si observamos del interior al exterior, vemos como se procede a implicar dos hiladas que cada una tiene de media 45 cm. de altura, la cubrición de la primera hilada continúa hasta el centro del núcleo de la muralla, donde baja a la altura de la hilada inmediatamente inferior que

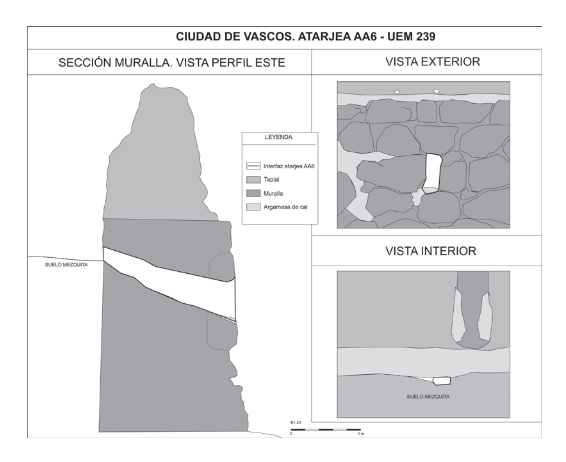


Figura 8
Sección del muro exterior sur de la Alcazaba a la altura de la Atarjea AA6

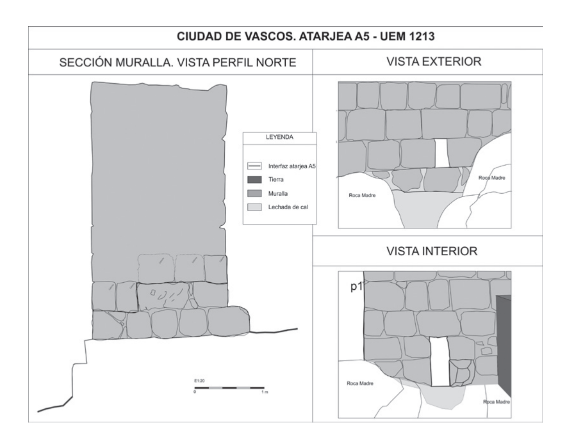
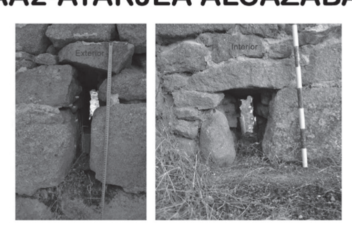


Figura 9
Sección dela muralla exterior de la Alcazaba a la altura de la Atarjea A5

AA1-ATARJEA ALCAZABA 1



AA2-ATARJEA ALCAZABA 2



AA3-ATARJEA ALCAZABA 3



Figura 10
Composición de las atarjeas de la Alcazaba

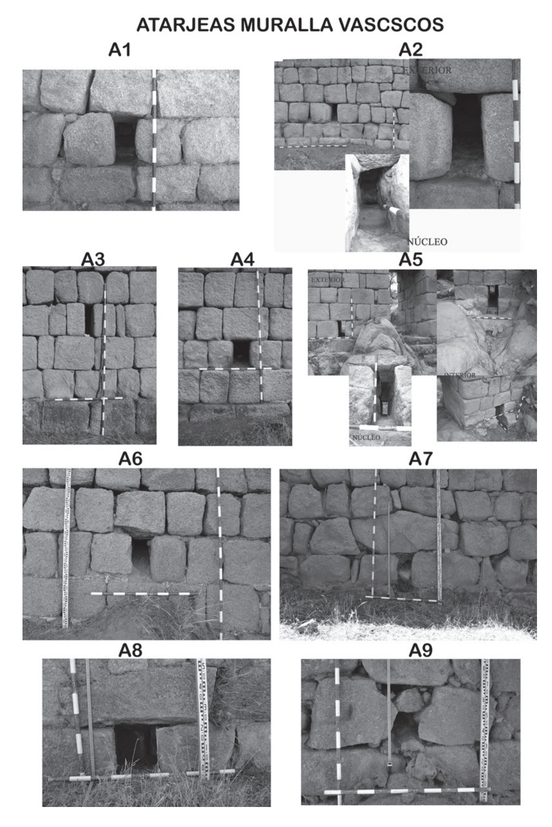


Figura 11
Composición de las atarjeas de la Muralla

cierran la cubrición de la atarjea. El suelo de la atarjea lleva sin embargo una lechada de cal al interior, que mantiene una pendiente homogénea para no acelerar el caudal y al exterior se protege con un escalón que frena el agua y permite su evacuación. Sin embargo, se da el caso en la Atarjea 5 que el suelo de la misma es contante y no tiene ese escalón, que se tiene que subsanar al exterior, en la zarpa, añadiendo una gran lechada de cal (Figura 9).

Conclusiones

En esta breve presentación, queríamos llamar la atención sobre la necesidad que las defensas y murallas contasen con medios de evacuación de aguas o de redireccionamiento de las mismas, para evitar que pudieran dañar la estructura construida. Hemos planteado una diferenciación cronológica y constructiva de dos tipos y maneras de construirlas, y analizado su singular factura.

Cabe destacar sin embargo, como en algunos casos, estas construcciones e ingenios servían para reconducir el agua a medios de contención o de aprovechamiento, sin embargo llama la atención que no hayamos conseguido identificar medios de canalización al exterior (salvo el mencionado en la Puerta Oeste) a depósitos o aljibes de captación de agua, por lo que podríamos pensar en la mera necesidad de evacuación y que no fuera potable. Sin embargo, no solucionan el eterno problema sobre los medios de captación de agua en Vascos, necesarios para el consumo de agua por la población y que nos obligan a profundizar en los estudios de medios de captación de agua (Prieto Vázquez y Izquierdo Benito 1989).

Notas

1. En el texto recurriremos a una serie de acrónimos: P – Puerta, PA- Puerta Alcazaba, p- portillo, pa- portillo alcazaba. A- Atarjea de la muralla. AA- Atarjea de la Alcazaba. T.- Torre. Estos acrónimos irán seguidos por el número correspondiente asignado (Bru Castro 2016b, 67-74). Además recogemos los diferentes números estratigráficos que pueden consultarse en los diagramas y más cómodamente en el volumen II – Elenco de relaciones estratigráficas (Bru Castro 2016b).

Lista de referencias

Bru Castro, Miguel Ángel. 2016a. «Evidencias materiales y análisis sobre el origen del yacimiento andalusí de Vascos». *Debates de Arqueología Medieval* 6: 155-82.

Bru Castro, Miguel Ángel. 2016b. «La arquitectura fortificada de la Madīna de Vascos. Análisis arqueológico de un enclave andalusí». Universidad Autónoma de Madrid. http://hdl.handle.net/10486/675535.

Caballero Zoreda, Luis. 1989. «Pervivencia de elementos visigodos en la transición al mundo medieval. Planteamiento del tema». *III Congreso de Arqueología Medieval Española, Oviedo, 27 Marzo- 1Abril . 1989* Tomo I: 111-34.

de Juan Ares, Jorge. 2016. «Análisis arqueológico de un centro de poder: La alcazaba de Ciudad de Vascos». Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Complutense de Madrid.

Gurriarán Daza, Pedro. 2004. «Reflexiones sobre la fundación del castillo de Tarifa y los constructores del califato de Córdoba». *Aljaranda. Revista de estudios tarifeños* 52: 5-11.

Izquierdo Benito, Ricardo. 1994. *Excavaciones en la ciudad hispanomusulmana de Vascos (Navalmorejo, Toledo): campañas 1983-1988*. Toledo : Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, D.L.

Izquierdo Benito, Ricardo. 2005. «Una ciudad de la Marca Media: Vascos (Toledo)». *Arqueología y Territorio Medieval* 12(2): 35-52

Márquez Bueno, Sergio, y Pedro Gurriarán Daza. 2011. «Las puertas monumentales en las fortificaciones del occidente andalusí». En *Frontera inferior de al-Andalus: Jornadas de Arqueología Historia Medieval. Mérida, 14 de julio de 2010-2011*, 183-252. Mérida: Ed. Junta de Extremadura, Mérida,.

Pavón Maldonado, Basilio. 1987. «Las puertas de ingreso directo en la arquitectura hispanomusulmana. La superposición arco-dintel de la Puerta de Bisagra de Toledo». *Al-Qantara* 8(1-2): 347-94.

Prieto Vázquez, Germán, y Ricardo Izquierdo Benito. 1989. «Los sistemas hidráulicos de la ciudad hispanomusulmana de Vascos». En *El Agua en zonas áridas. I Coloquio de Historia y Medio Físico*, 467-86.

La maqueta del puente de Neuilly, en el Deutsches Museum

Dirk Bühler

La fundación del Deutsches Museum en Múnich, en 1903, el primer museo en Alemania dedicado a la ciencia y tecnología, significaba no solo la creación de un tipo nuevo de museo sino también el inicio del desarrollo de medios innovadores de presentación.[1] El objetivo del museo era la popularización de la ciencia y tecnología tanto para promover y explicar las nuevas tecnologías a la gente en general, como para fomentar el interés y mejorar la formación de la juventud en estas áreas.

Aparte de los objetos originales instructivos y, muchas veces, sorprendentes que se adquirieron y coleccionaron, los fundadores del museo establecieron dos pilares didácticos principales e innovadores: uno es el desarrollo de experimentos capaces de explicar contextos complicados de una manera científica y a la vez inteligible —un tema que en este artículo no se tocará—. El segundo pilar lo representan, desde un principio, las maquetas y dioramas —el enfoque de este artículo— que hacen comprensibles los modos de producción de bienes y servicios para un público general y, a la vez, crean una memoria de técnicas históricas y actuales de una forma duradera.

Como creadores de maquetas y dioramas, los artesanos bávaros estaban bien preparados porque durante siglos construyeron, en las noches oscuras del invierno, sus nacimientos famosos con máxima precisión técnica y artesanal para celebrar la fiesta de Nochebuena y exponerlos en iglesias o en edificios públicos y privados. Artesanos como ellos realizaron ahora, en los propios talleres del museo, piezas de exposición con sorprendente valor didáctico e histórico: maquetas de laboratorios científicos y técnicos, de talleres y fábricas de toda índole, de altos hornos y máquinas de vapor, y mucho más.

Hoy, la colección de maquetas sigue siendo la piedra angular del museo, ya que demuestran y explican tecnologías tanto históricas como modernas de manera intuitiva e inteligible. Es obvio que las exposiciones dedicadas a la construcción, que por sí mismas tienen una tradición milenaria de usar este medio, se inspiran en maquetas arquitectónicas y de ingeniería. Consecuentemente son, sobre todo las colecciones y exposiciones que se refieren a la ingeniería civil y la construcción, las que se prestan, por el propio tema, para ser representadas y explicadas a través de maquetas, en particular aquellas que muestran no tanto el edificio terminado sino su proceso constructivo.

Una de las colecciones de maquetas más atractivas del museo es la de puentes cuyos inicios se remontan a los fines del siglo XIX. Consiste en maquetas que se manufacturaron para la administración de edificios de Baviera; objetos que, al fundarse el museo, se integraron a la colección de la primera exposición de puentes en 1903, hospedada provisionalmente en un antiguo cuartel cerca del sitio del museo actual. A estos objetos más antiguos se sumaron otros nuevos que se produjeron especialmente para esta exposición, tanto en los propios talleres como los adquiridos de constructoras y talleres de la universidad. Cuando el museo se trasladó, en 1925, al nuevo edi-

ficio que hoy conocemos, la exposición de puentes obtuvo un diseño nuevo y muchas maquetas de puentes contemporáneos más, presentándose a la altura de su tiempo. Después de las destrucciones graves durante la guerra se reformaron a partir de 1947, poco a poco, todas las exposiciones. Entre 1958 y 1963 se instala la exposición de puentes en la misma galería que ocupaba antes. Comparte esta galería con las exposiciones de ingeniería hidráulica, la de caminos y la de puertos.

Cuando se inauguró la sección de puentes en 1963 se presentaron 26 objetos originales, 44 maquetas y réplicas y un experimento; además de 125 puentes a través de fotografías, sumando 194 puentes en total (Bühler, 1993). En esta época se crea la tercera generación de maquetas, entre las cuales se encuentra también la del puente de Neuilly, cuyo tema se aborda más adelante.

Maquetas, réplicas y dioramas: testimonio e inspiración

¿Cuáles son los medios de presentación y documentación de la historia de la construcción? La primera y más impresionante —como lo hemos visto— es exhibir el mismo original, siempre y cuando sus dimensiones lo permitan. Pero si esto no es posible, la maqueta es un paso muy factible y atractivo de abstracción, ya que obliga al diseñador a pensar en una contracción a lo esencial, una síntesis de los procesos para poder describirlo y representarlo a una escala que permita la comprensión inmediata por parte del espectador. Los experimentos pueden explicar adicionalmente los hechos estructurales básicos.

La planificación y la construcción de maquetas es, por ejemplo, una excelente aproximación científica a la historia de la construcción. En primer lugar, el comisario y el constructor tienen que examinar el propósito de la presentación: si es una demostración educativa para un público específico, una reconstrucción para la preservación histórica de un original perdido, si debe servir como promoción de la conservación de una construcción existente, para el examen de procesos históricos y mucho más. Luego se hace una gran diferencia si se desea mostrar un proceso constructivo o una construcción acabada.

En el primer caso, el paso científico principal será la definición del mejor momento durante el período de construcción que mejor represente y explique, a través de sus detalles, el proceso completo. En el segundo caso —de la construcción terminada—, la decisión se referirá más bien al momento histórico deseado del original (siempre sujeto a cambios, como todos los monumentos), el nivel de detalle de la maqueta y, como consecuencia, la escala adecuada. Después de esta decisión, en ambos casos, se deben investigar y consultar planes fiables del período de construcción (u otra época deseada), fotografías, gráficos y la literatura de referencia. El equipo de trabajadores, los materiales y las máquinas presentes y empleadas en la obra tienen que ser investigados correctamente. Todas las extensiones y tamaños para la maqueta, sus colores y materiales han de ser seleccionados, armonizados y comprobados de acuerdo con el original.

Todas estas actividades contribuyen, finalmente, a que la maqueta sea una verdadera contribución a la historia de la construcción, no solo porque la maqueta sirve para presentar el resultado a un público, sino también porque se requiere (y se investiga) la misma documentación completa tanto como para la construcción del original. Pocos museos y asociaciones públicas emprenden la tarea extenuante de reconstruir edificios históricos con herramientas auténticas, materiales y procedimientos como réplicas.

De esta manera, desde los primeros días del museo se producen maquetas de arquitectura y de ingeniería en los talleres del Deutsches Museum, y en muchas de las exposiciones relacionadas con la construcción se animan y hacen palpables los procesos de construcción.

En la colección de maquetas de puentes, el museo dispone de tres prototipos para demostrar los procesos de construcción. La obra del puente de Neuilly (1768-1774) tiene como base la publicación de Jean Rodolphe Perronet (1708-1794) (Perronet, 1788) y se presenta en cuatro maquetas a escala 1:40, que representan: (1) las obras de cimentación, (2) la de los arcos sobre cimbras, (3) la construcción de los pilares, y, finalmente, (4) el acabado de la construcción.

Una maqueta de 1997, en la misma escala de 1:40, muestra el momento de la construcción del puente de Normandía, en Francia (1988-1995), cuando el pilón (de 7 m de altura, en la maqueta) está terminado y los trabajos para colocar el tablero han empezado. Otro tipo representa el diorama del puente de Müngsten (Alemania), que se construyó entre 1893 y

1897 con el arco de hierro más grande del país. Como es típico, en el diorama la escala varía para aumentar la percepción de profundidad y perspectiva. Tan solo en este caso, y por razones de autenticidad del mismo puente, se mantiene una escala de 1:100 en todo el diorama (figura 1). La colección presenta, además, maquetas de estructuras ejemplares como un entramado tipo Howe o una viga tipo Pauli. De la misma manera están presentes las obras hidráulicas y los túneles más importantes. En la colección de túneles destaca una réplica (a escala 1:1, como indica el nombre) con elementos del armazón originales de un momento en la construcción del túnel del Simplon, en el año 1906.

El museo también dispone de una importante colección de maquetas de edificios que no fueron expuestos sino hasta después de la Segunda Guerra Mundial, y desde entonces reposan en los almacenes para ser rentados para exposiciones de otros museos (Bühler, 2013). Las maquetas corresponden a viviendas y palacios de todo el mundo, así como a monumentos específicos. Hoy, muchos de ellos han sido declarados monumentos universales por la Unesco. La diferencia entre estas maquetas y las de los museos de arquitectura y las de antropología radica en el hecho de que estos no enfocan la creación de espacios ni la vida cotidiana de los pueblos, sino las técnicas de construcción. Una parte curiosa de esta colección refleja la construcción de baños públicos a través de la historia, con la idea de promover el uso

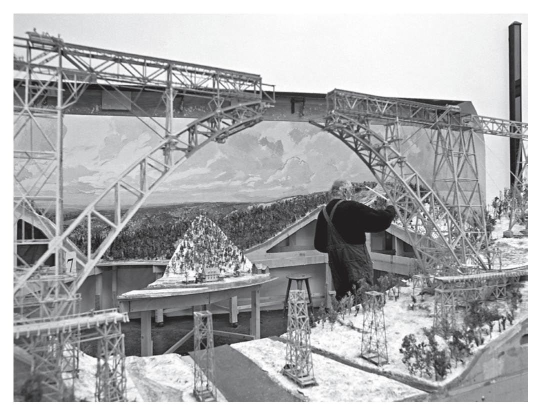


Figura 1
El pintor profesor Günter B. Voglsamer (1918-2004) pinta la cúpula y el fondo para el diorama del puente de Müngsten (© Deutsches Museum Archiv)

de los establecimientos modernos que, a principios del siglo XIX, todavía necesitaban mucha convicción para que la gente los usara. Una de las maquetas de 1906 sirvió, hace pocos años, para la reconstrucción del edificio original donde se habían perdido los otros documentos (Bühler, 2005).

Muchas de estas maquetas hoy en día documentan construcciones y edificios que ya no existen, de tal manera que representan un fondo documental inestimable.

Origen e historia de la construcción de la maqueta del puente de Neuilly

En el archivo del museo se conservan algunos documentos elocuentes sobre la creación de esta maqueta que se terminó de montar en 1959, y que representa el proceso de construcción del puente de Neuilly sobre el río Sena, cerca de París, construido por Jean-Rodolphe Perronet entre 1768 y 1772 e inaugurado dos años más tarde. La maqueta muestra cuatro etapas clave de la construcción del puente en la escala 1:40, que se basan en la publicación exhaustiva de los planos y descripciones del proyecto que publicó Perronet en 1788 en París, y del cual la biblioteca del museo conserva un ejemplar, además de una traducción al alemán que se publicó en 1820 (figura 2).

La primera referencia documentada sobre esta maqueta se encuentra en el archivo administrativo del museo: una sinopsis de la futura exposición del 21 de agosto de 1958, firmada por los entonces curadores Rauck y Stolper. El concepto de la exposición había sido elaborado anteriormente por un gremio formado por los curadores, los técnicos y el director del museo, apoyado por importantes consejeros externos, académicos, administrativos y empresariales. Estos consejeros externos, a la vez, eran los donadores de fondos para la realización del proyecto.

La sinopsis consideró un ordenamiento general de la exposición, en primer término, de acuerdo a los materiales de construcción y, en un segundo, al desarrollo histórico de los puentes del mismo material, de tal manera que había secciones de «madera», «piedra», «hierro y acero» y «hormigón». Las secciones estaban separadas entre sí por réplicas de secciones transversales de puentes hechos de cada uno de los materiales, un diseño dispendioso que ocupa gran parte de la correspondencia previa a la puesta en

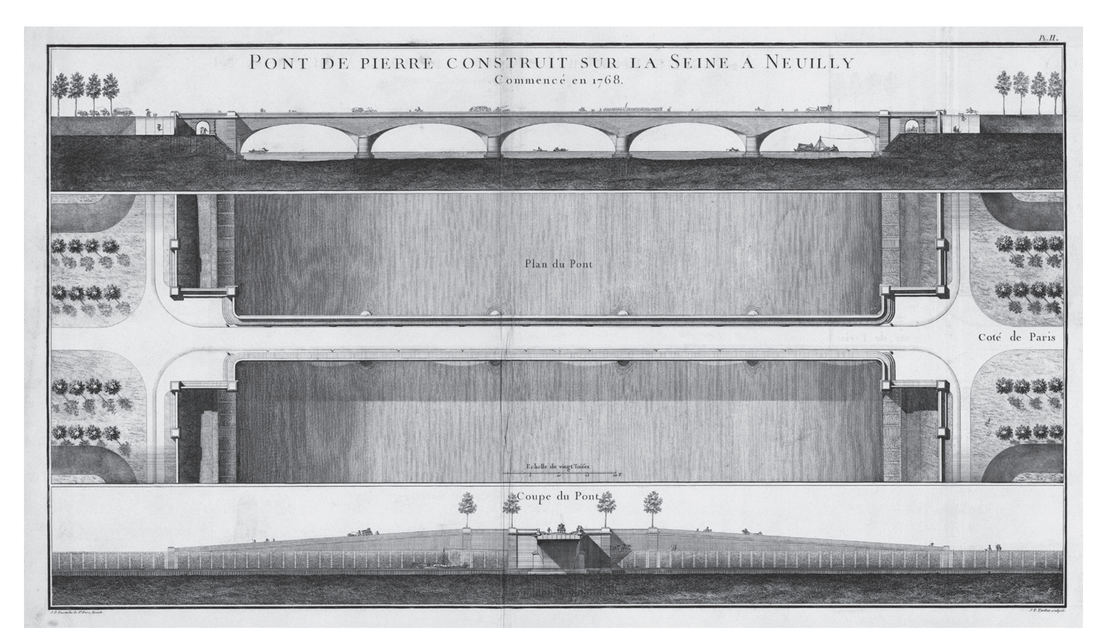


Figura 2
Grabado de la obra principal de Jean Rodolphe Perronet: el puente de Neuilly (alzado, planta y sección transversal) (Perronet, 1788, 32-33)

práctica. Fuera de este esquema había tres secciones más: de puentes atirantados y colgantes, así como una de puentes móviles.

La maqueta del puente de Neuilly, de acuerdo al documento —que también menciona fotografías que no se han conservado—, forma parte de la sección V. «Caminos y puentes entre 1700 y 1800», apartado b: «Construcciones basadas en un cálculo estructural». Además de la maqueta del propio puente, se consideran maquetas de las máquinas de construcción de Perronet y una maqueta desarmable para el levantamiento de la cimbra y de la colocación de piedras, que, aparentemente, no se realizaron.

La estructura general de la exposición y la clasificación de la maqueta dentro del grupo de puentes basados en un cálculo estructural, hacen evidente el porqué los responsables seleccionaron el puente de Neuilly como el ejemplo más representativo: es el primer puente de piedra cuya formación técnica queda bien documentada y, además, ampliamente ilustrado con planos detallados del diseño estructural, con escala gráfica, considerando diferentes etapas de la construcción. La importancia de esta obra para el futuro desarrollo de la ingeniería civil es innegable. Otro motivo de esta selección, seguramente, es la disponibilidad de este material publicado por Perronet en la biblioteca del museo, y de algunos grabados más de este puente en hojas sueltas, en el archivo que formaba parte del material académico del politécnico (Archivo de planos TZ 013461, TZ 013063).

El siguiente paso para la realización de la maqueta se documenta, afortunadamente, en el archivo del museo a través de 14 cianotipos (o fotocalcos azules): siete de ellos (TZ 013435 al TZ 013437 y TZ 013439 al TZ 013442) miden 110 × 79 centímetros, uno (TZ 013438) es más largo con 160 × 49 centímetros y seis son planos de detalles (TZ 013429 al TZ 013434), con medidas menores. Todos, menos uno, están fechados entre noviembre de 1958 y enero de 1959, y firmados por el dibujante «Stirnpfeiler». Pero solo uno de los planos presenta la fecha «08.07.1958» (TZ 013439), lo que significa que fue dibujado anteriormente a la sinopsis de agosto del mismo año, que ya se comentó. El plano describe los arcos que llevaría la maqueta y, tal vez, se hizo para una presentación ante el gremio ejecutivo.

Cuando se dibujaron los planos ya se había fijado anteriormente la escala de 1:40 para la construcción de la maqueta, que no es una escala muy común en la construcción; posiblemente se trató de una decisión que se tomó por razones prácticas, porque la maqueta no podía exceder las posibilidades espaciales de la galería y tenía que presentar, a la vez, un máximo de detalles técnicos. Estos planos están ampliamente acotados (los planos publicados por Perronet solo disponen de una escala gráfica) y describen la producción completa de las cuatro partes de la maqueta con enfoque en los arcos, especialmente en su estereotomía, en la cimbra y en los detalles de máquinas y equipamiento para la construcción. Basado en estos planos —cuya elaboración se apoyó, sobre todo, en cuatro de los planos publicados por Perronet que determinan fases preestablecidas—, se podía empezar a realizar la construcción de la maqueta, a principios de 1959.

Este procedimiento no ha cambiado hasta hoy en la producción de maquetas: todo lo que se representa en la maqueta tiene su base en planos concretos del edificio; planos cuya escala se reduce a la deseada para la maqueta y que enseguida se dibujan de nuevo, pero ahora utilizando sistemas digitales. A veces, sobre todo para los dioramas, se producen maquetas en una escala menor para comprobar su efecto en el espectador.

El siguiente paso es la selección del material adecuado para cada parte de la maqueta. Como hay muchos materiales con propiedades distintas, se debe establecer desde un principio un concepto que comprenda un conjunto de materiales compatibles entre ellos. Además, se debe planear también, cuanto antes, el empleo y la calidad de colores para la maqueta. En el trabajo artesanal no se debe utilizar cualquier material: por ejemplo, no se debe emplear un guijarro que en la escala de la maqueta pretenda representar una roca en el tamaño del original, o una rama delgada que pretenda ser un tronco de árbol en la realidad. Estos son procedimientos poco profesionales que resaltan a primera vista y que pueden arruinar la buena impresión de una maqueta.

Preparado con este planteamiento preliminar, el artesano puede proceder a la manufactura. Esta maqueta, hoy en día, sigue siendo una de las más espectaculares del museo por su precisión absoluta en todos los detalles, su acabado fino y su valor histórico. En un informe del museo, publicado en 1963, se describe y valora esta maqueta por primera vez en toda su importancia (Anónimo, 1963).

La maqueta en la historia de la construcción

La maqueta de la obra de construcción del puente del Sena cerca de Neuilly, del Deutsches Museum, mide 80 × 145 × 670 centímetros en total e ingresó en 1959 con el número 80201 en la lista de inventario del museo. Las cuatro secciones se presentan en una sola vitrina.

La construcción original y su ingeniero

El ingeniero francés Jean-Rodolphe Perronet era el responsable de la construcción de este puente con arcos, excepcionalmente rebajados para su época. Perronet había estado trabajando en el diseño de este puente de piedra cerca del suburbio parisino de Neuilly desde 1766. Los dos puentes de madera existentes entonces se habían deteriorado con el tiempo y era previsible que pronto tuvieran que ser reemplazados. Después de que el paso de un bloque de hielo, en enero de 1768, dañara los puentes tanto que ya no era posible repararlos, las obras para un puente nuevo de piedra fueron sacados a concurso inmediatamente. El puente tendría una longitud total de 220 metros y estaría formado por cinco arcos de piedra de 40 metros de luz cada uno. Las propuestas se evaluaron rápidamente, así que el 29 de marzo de 1768, dos empresas constructoras iniciaron los trabajos.

Gracias a la buena planificación y organización de su obra, Perronet pudo reducir de diez a cuatro años y medio el plazo de construcción previsto. En el acto de inauguración se desarmó la cimbra en presencia del rey Luis XV, el 22 de septiembre de 1772. Dos años más tarde el puente pudo ser abierto al tráfico. Cumplió con su deber durante más de 150 años, hasta que dejó de ser suficiente para el creciente tráfico de automóviles y fue abandonado en 1939.

Perronet planificó la construcción con sumo cuidado, de acuerdo con los últimos descubrimientos técnicos y científicos. Por ejemplo, se atrevió a construir los pilares que, de acuerdo a las teorías contemporáneas deberían tener casi 8 metros de espesor, con un espesor de solo 4,20 metros. Una de las razones de su éxito fue la cuidadosa y profunda ci-

mentación del puente. Gracias a la esbeltez de sus pilares, la elegancia de la construcción no tiene precedentes.

Perronet fue uno de los ingenieros más influyentes de su tiempo, encabezó durante 47 años la primera escuela de ingeniería de puentes y caminos, la «École royale des ponts et chaussées», en París. Bajo su dirección, la escuela se convirtió en la más importante del siglo XVIII, ya que Perronet fue el primer ingeniero que estableció una base científica para ingenieros y constructores. La amplia experiencia que adquirió en la práctica de la construcción, la transmitió a estudiantes y profesionistas.

La maqueta: cuatro fases de construcción del puente del Sena, en Neuilly

La primera sección de la maqueta muestra los trabajos de cimentación en el cauce del río y representa el estado de las obras en julio de 1768 (figuras 3 y 4).

Antes de empezar a trabajar en la cimentación se construyen muros de contención (ataguía), que después del drenaje establecen un pozo seco que permite trabajar en medio del río. Desde unas balsas, los trabajadores clavan dos filas paralelas de tablas de roble, muy pegadas una a la otra, a manera de tablestacados, en la profundidad del suelo, bajo el agua. El espacio entre los tablestacados se rellena con tierra. Tan pronto como el relleno se compacta y se satura con agua es capaz de sellar el área de trabajo drenado. Norias impulsadas por la corriente del río bombean constantemente el agua que entra al recinto. Ahora comienzan los trabajos de cimentación del puente (figura 5). Con martinetes pesados, los obreros clavan en el lecho del río las pilas de roble afiladas y redondeadas (figura 6). Las cabezas de pila que sobresalen son aserradas a una altura que previamente es alineada a un nivel común, con un nivel de burbuja y una cuerda. Los espacios entre las cabezas de los pilotes se rellenan con piedras y mortero. El siguiente tablón de madera forma una base estable y nivelada, sobre la que se pueden construir los pilares del puente. Dos de los muelles del río, necesarios, pueden incluso construirse sin la costosa construcción de ataguías, ya que el terreno se encuentra fuera del agua.

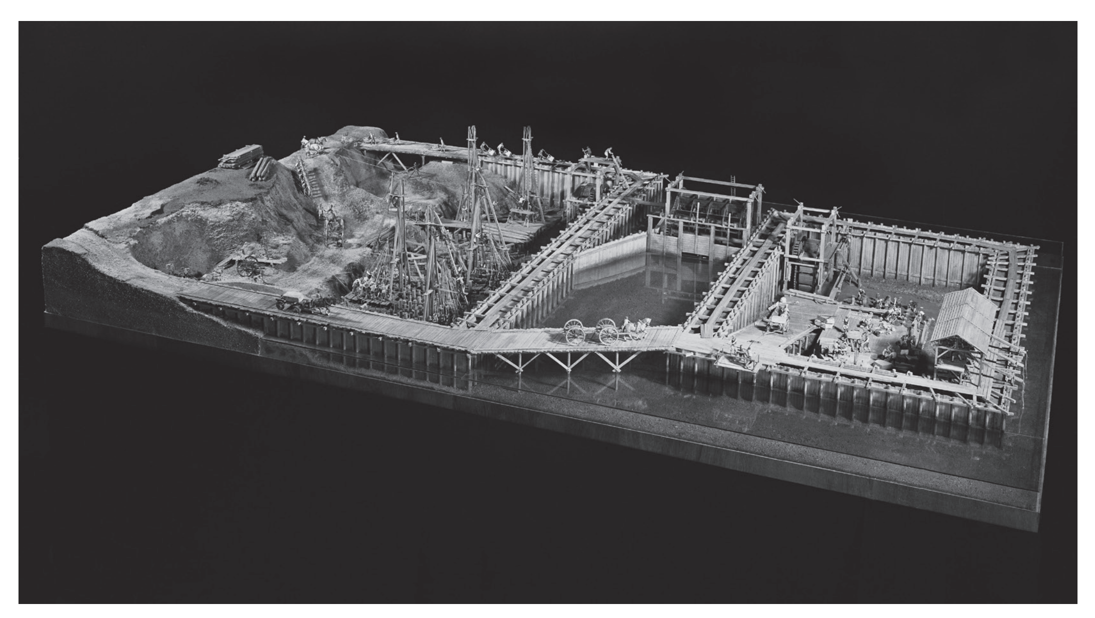


Figura 3
La primera sección de la maqueta (© Deutsches Museum Archiv)

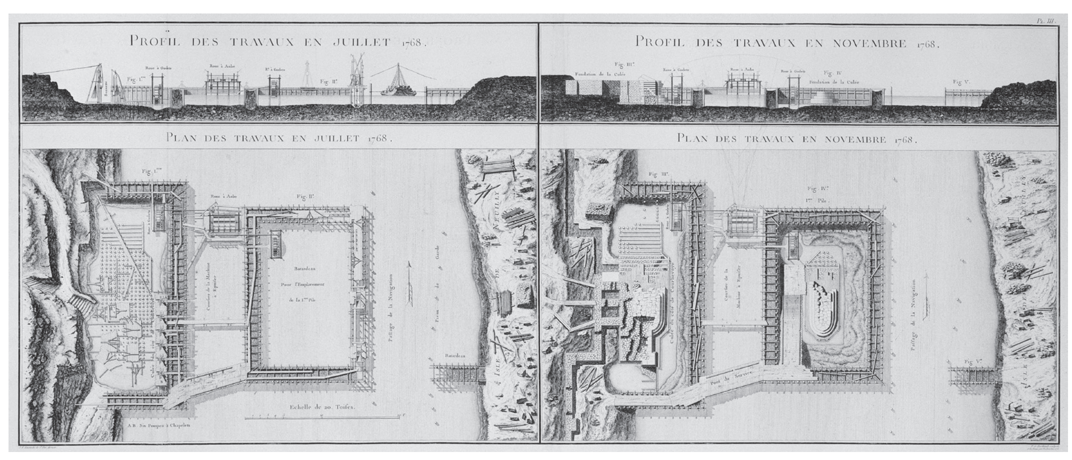


Figura 4
Estado de las obras en julio de 1768, según el dibujo de Perronet (Perronet, 1788, 40-42)

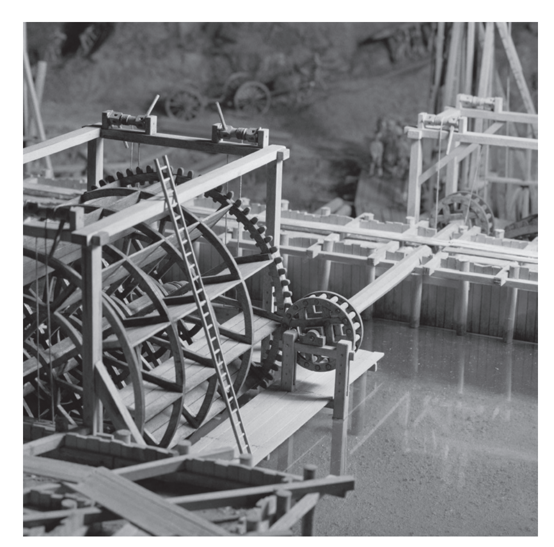


Figura 5
El drenaje del pozo se efectúa a través de norias impulsadas por la corriente del río (© Deutsches Museum Archiv)

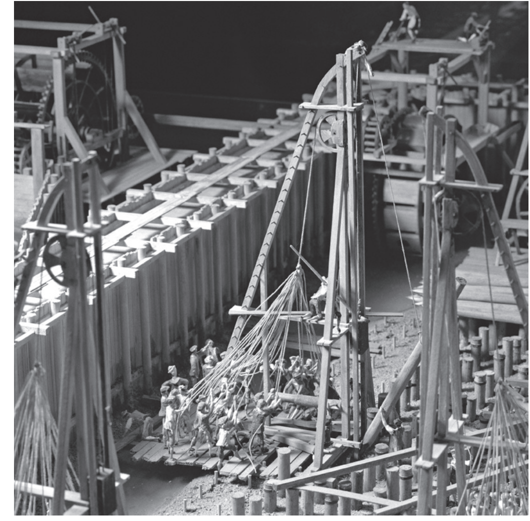
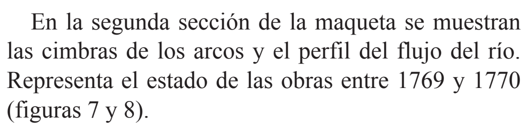


Figura 6
Para levantar los martinetes que clavan las pilas en el lecho del río se necesitan muchos obreros fuertes y bien coordinados (© Deutsches Museum Archiv)



En la segunda sección de la maqueta se muestran las cimbras de los arcos y el perfil del flujo del río. Representa el estado de las obras entre 1769 y 1770 (figuras 7 y 8).

Antes de construir el arco los carpinteros deben colocar cimbras en el suelo, que anteriormente ha sido medido y marcado con cuerdas. Allá, las vigas de madera se juntan para la cimbra que forma el curso previsto del arco. Al mismo tiempo, también se muestra el desmantelamiento de la ataguía sobrante tras la finalización de los pilares. Esta parte de la ensambladura de la cimbra es la más complicada en la construcción original y en la de la maqueta.

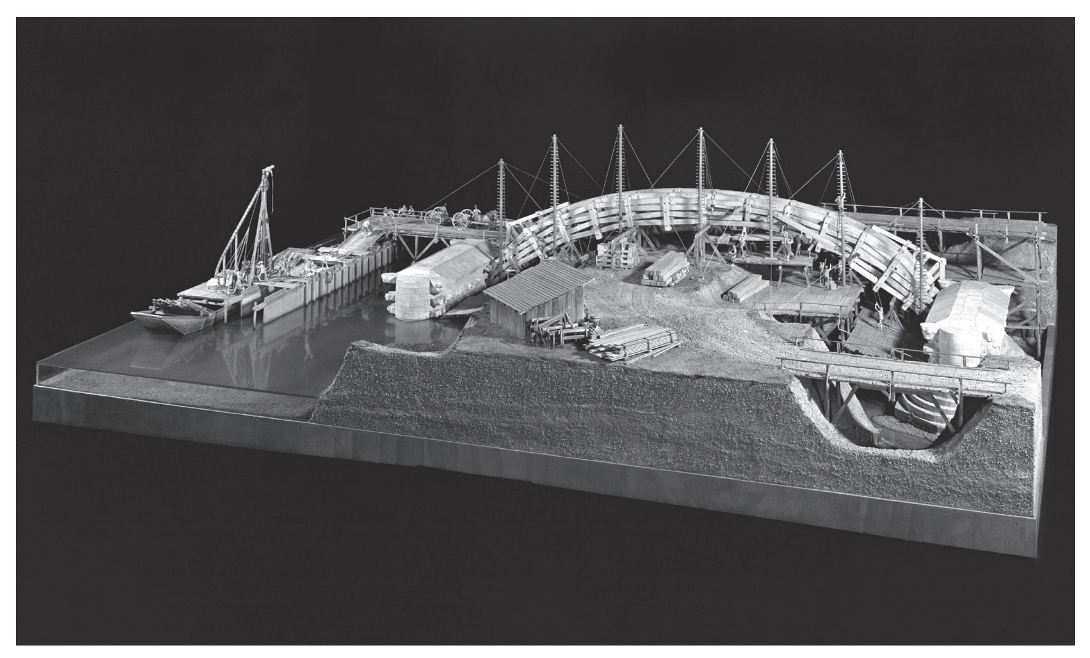


Figura 7
La segunda sección de la maqueta (© Deutsches Museum Archiv)

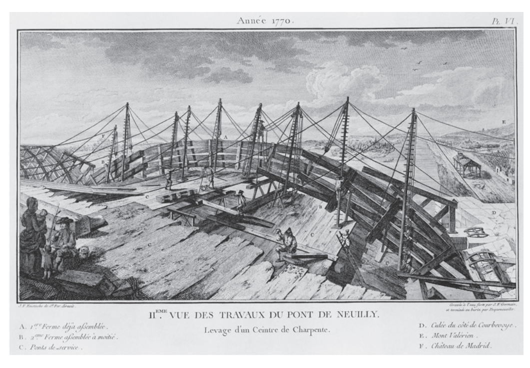


Figura 8
Levantamiento de uno de los cuchillos de la cimbra, en 1770, según un dibujo de Perronet (Perronet, 1788)

Debido a que Perronet redujo las dimensiones de los pilares en 4,30 metros de ancho, pudo reducir el peso muerto del puente. De esta forma, el puente parecía mucho más elegante y el perfil del flujo del río más amplio reducía el riesgo de socavación y desgaste (figura 9).

En la tercera sección de la maqueta se muestran las obras de albañilería de los arcos. Representa el estado de las obras en 1772 (figuras 10 y 11)

Esta tercera parte de la maqueta muestra la construcción de los arcos de piedra, así como la preparación y colocación de los bloques de piedra. Aquí se pueden ver los métodos de trabajo de las grúas y el trabajo de los canteros.

Los arcos del puente de Neuilly son rebajados y permiten una gran envergadura. Su traza está formada por once segmentos circulares unidos entre sí. Las piedras, previamente talladas, se colocan en la cimbra con grúas especialmente diseñadas para esta obra y, sin usar mortero, se unen entre sí hasta que el arco está completo. Toda la carga y el peso de las piedras descansan sobre la cimbra durante la construcción.

Para la construcción del puente de Neuilly, Perronet desarrolló carros especiales, a los que llamó «camions prismatique». Estos contenedores para el transporte de tierra y piedras fueron montados sobre un chasís especial, de tal manera que podían inclinarse fácilmente. Esto simplificó enormemente la descarga de materiales de construcción (figura 12).

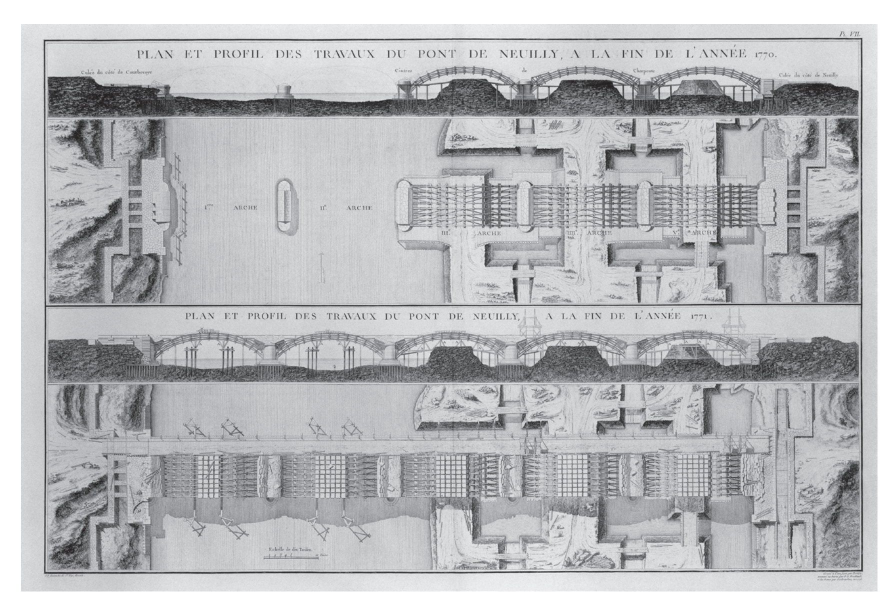


Figura 9
Estado de las obras en julio de 1770, según el dibujo de Perronet (Perronet, 1788, 62-63)

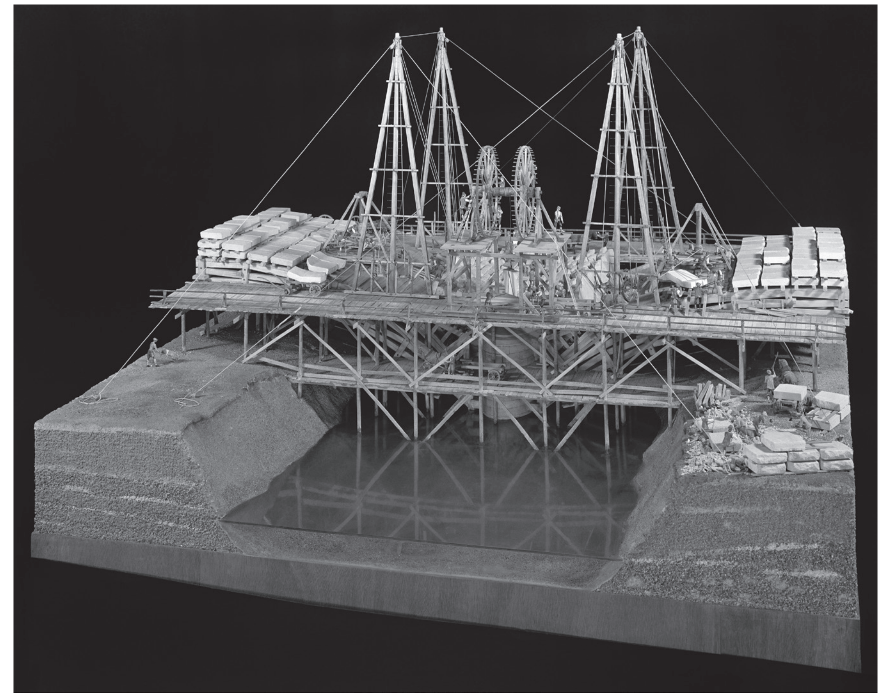


Figura 10
La tercera sección de la maqueta (© Deutsches Museum Archiv)

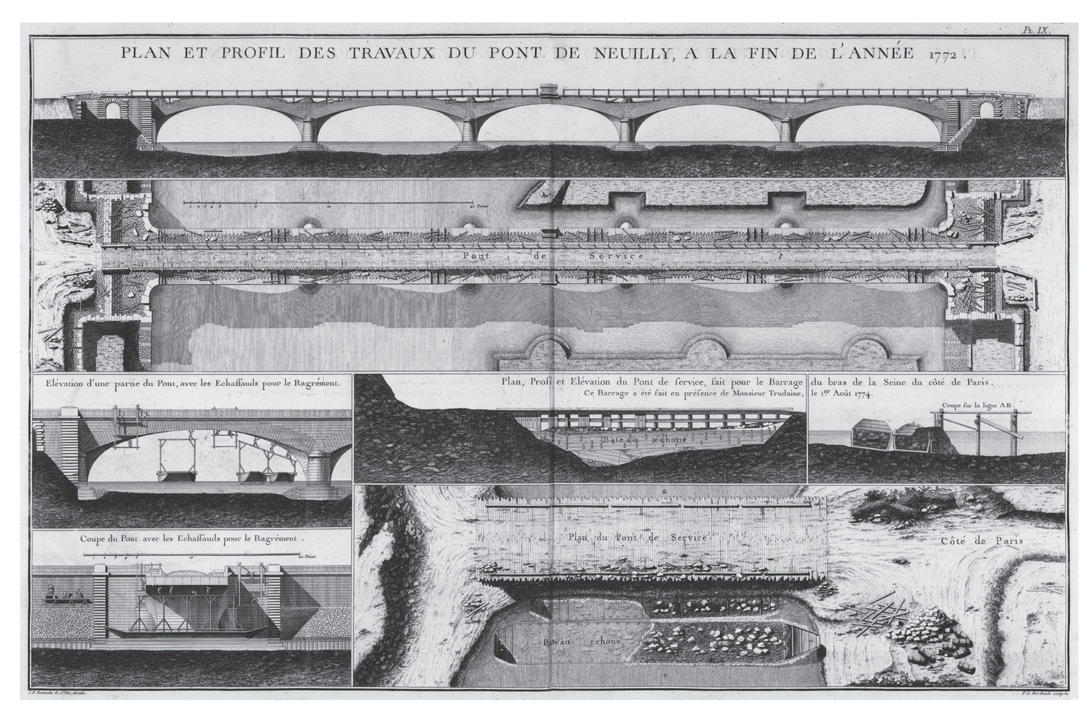


Figura 11
Estado de la obra a finales de 1772, según el dibujo de Perronet (Perronet, 1788, 78-79)



Figura 12
En la maqueta: el carro prismático, diseñado por Perronet especialmente para esta obra (© Deutsches Museum Archiv)

Por primera vez, Perronet hizo construir la cimbra de este puente ligeramente más alta que el arco proyectado para anticipar el descenso natural del arco causado por la carga muerta. También hizo que el desmontaje del andamio se llevara a cabo de forma diferente a lo habitual: todo el andamio se bajó en una sola pieza.

En la cuarta sección de la maqueta se muestran las obras restantes de albañilería y cantería. Representa el estado de las obras a finales de 1772 (figuras 13 y 14).

En esta última parte de la maqueta se muestran los trabajos pendientes tras la finalización de las obras construcción y la inauguración del puente: el tratamiento de las superficies de piedra, la colocación del pavimento y el desmantelamiento de los equipos de la obra.

Perronet había organizado una fiesta de inauguración pública para el desmantelamiento de las cimbras. Además de numerosos ciudadanos y nobles, Luis XV, rey de Francia, también estuvo en el evento para presenciar cómo todas las vigas de la cimbra se

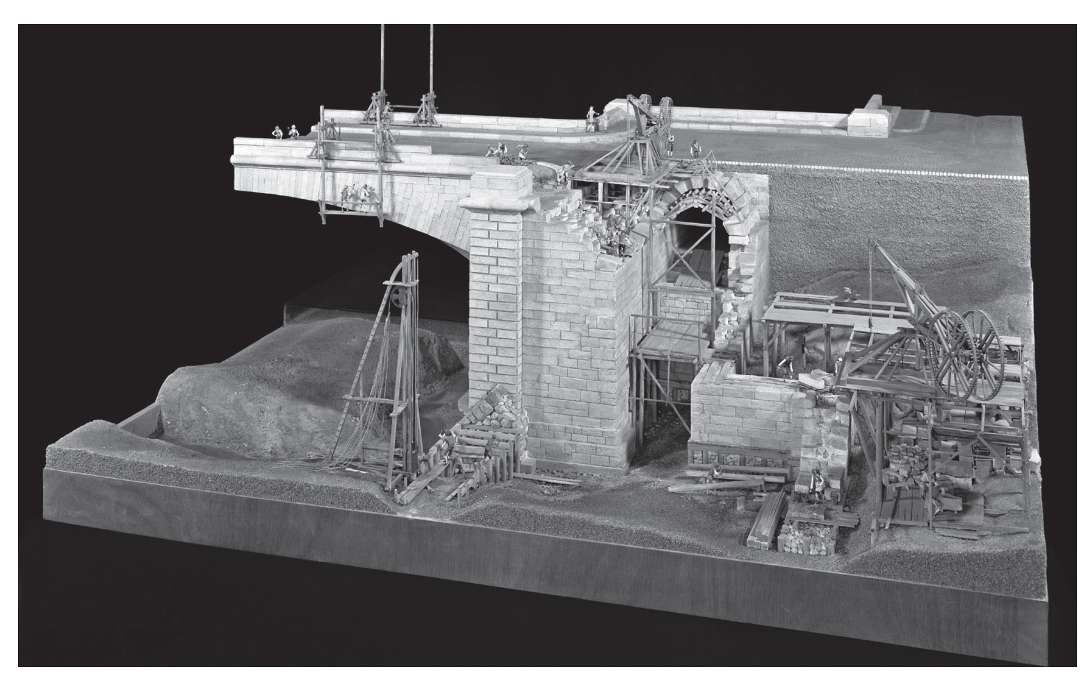


Figura 13
La cuarta sección de la maqueta (© Deutsches Museum Archiv)

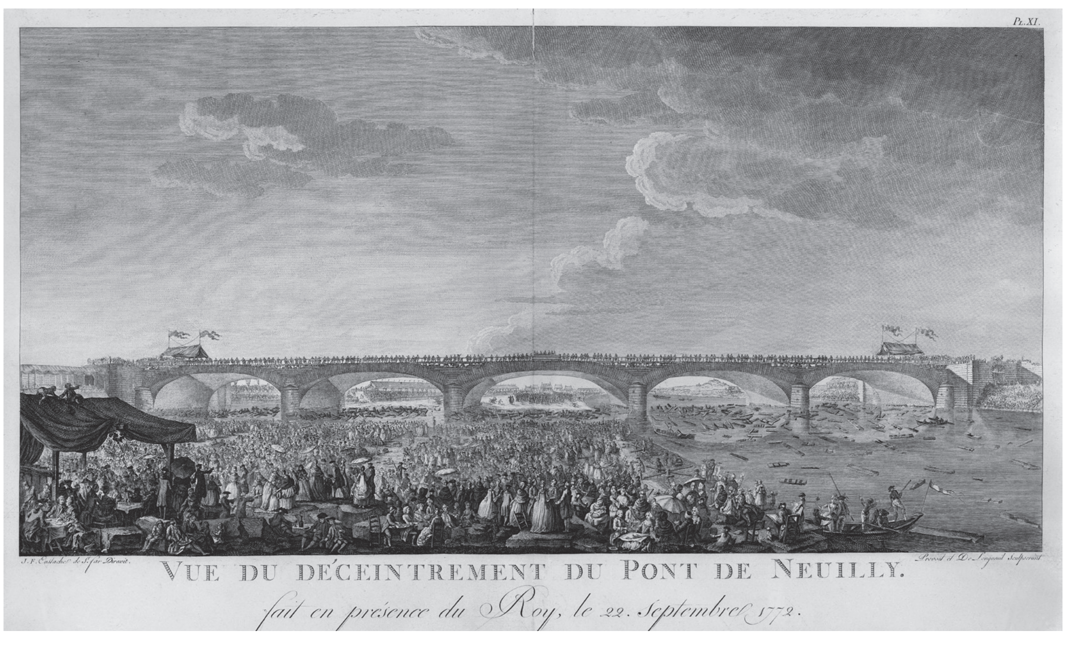


Figura 14
La inauguración del puente, el 22 de septiembre de 1772 (Perronet, 1788, 88-90)

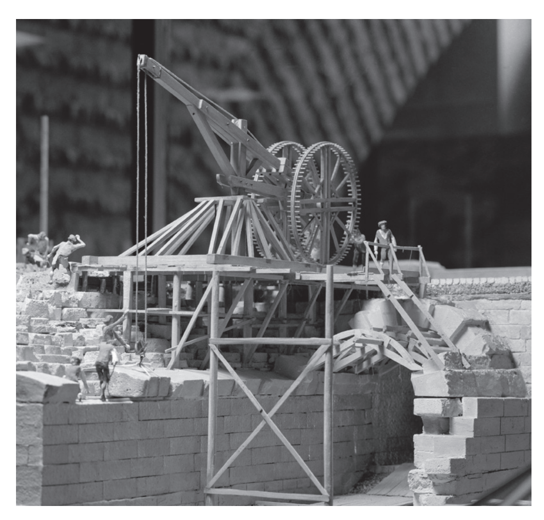


Figura 15
Maqueta de una pequeña grúa giratoria (© Deutsches Museum Archiv)

sumergían al mismo tiempo en el Sena. Perronet había preparado bien este evento. Actuó con cuidado: cuatro semanas antes había quitado las cuñas de madera entre la cimbra y el arco, así que el día de la fiesta los arcos ya estaban libres. De esta manera podía estar seguro de que los arcos se mantendrían en pie y que las fiestas serían un éxito.

Conclusiones

La construcción del puente de Neuilly es un momento clave en la ingeniería civil que dejó sus huellas tanto en la enseñanza como en la práctica de la construcción, para muchas generaciones siguientes. La maqueta del Deutsches Museum hace justicia a su ejemplo concreto, porque se funda en una investigación científica profunda, que es capaz de mostrar procesos de construcción, el equipamiento técnico y la labor de los trabajadores en esta obra importante. Las reflexiones sobre y durante la realización condujeron a hacer auténticos, evidentes y comprensibles los pasos de producción para el estudioso, de una forma tridimensional y palpable: en esto yace su valor y desempeño para la historia de la construcción.

Notas

1. Agradezco mucho la revisión del manuscrito por Elid Rafael Brindis Gómez, Lima (Perú)

Lista de referencias

Anónimo. 1963. Zum Ausbau der Abteilung Brückenbau im Deutschen Museum. *Deutsches Museum. Abhandlungen und Berichte.* 31. Jahrgang 1963, Heft 3. Múnich: Deutsches Museum, 37-43.

Bühler, Dirk. 1993. *Brücken- und Strassenbau. Objekt- und Demonstrationsverzeichnis*. Múnich: Deutsches Museum.

Bühler, Dirk. 2005. Die Stadtschwimmhalle in Dessau - Ein historisches Modell als Dokument für die Denkmalpflege. *Kultur & Technik*, 1: 34-38.

Bühler, Dirk. 2013. Models: Assembled Realities in Architecture and Engineering. En *Artefacts. Analyzing Art and Aesthetics, vol. 9,* editado por A. C. Goodyear y M. A. Weitekamp, 56-74. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Scholarly Press.

Perronet, Jean-Rodolphe. 1788. *Description des Projets et de la Construction des Ponts de Neuilli, De Mantes, D'Orléans, De Louis XVI, etc.: On y a ajouté le projet du canal de Bourgogne, pour la communication des deux mers par Dijon; et de celui de la conduite des eaux de l'Yvette et de la Bievre à Paris, en soixante et treize planches*. [2 volúmenes] París: Didot.

Perronet, Jean-Rodolphe. 1820. *Perronet's Werke: die Beschreibung der Entwürfe und der Bauarten der Brücken bei Neuilli, Mantes, Orleans, Ludwigs XVI. & c., den Entwurf des Burgundischen Kanals und den der Wasserleitung von der Yvette und Bievre nach Paris, so wie mehrere einzelne Abhandlungen, enthaltend*. [2 volúmenes] Halle: Hemmerde und Schwetschke.

Perronet, Jean Rodolphe. 2005. *La construcción de puentes en el siglo XVIII*. Madrid: Instituto Juan de Herrera [e.a.].

Archivos consultados

Deutsches Museum, Múnich
Verwaltungsarchiv (archivo administrativo), años 1958-1963.
Planarchiv (archivo de planos) TZ 013429 - TZ 013442, TZ 013461, TZ 013063, TZ 014075 - 014091.

El puente de hierro sobre el río Guadalimar y su originalidad estructural. Una obra de dos grandes ingenieros

Antonio Burgos Núñez

El Plan General de Carreteras de 1860 ya incluía el itinerario de Bailén a Baeza, pensado para conectar esta última población (y especialmente el pujante núcleo minero de Linares) con la carretera de Madrid a Cádiz por Ocaña y Córdoba, el siempre vital eje de comunicación de Andalucía con el centro de la Península (figura 1).

Se trataba de una carretera de apenas treinta kilómetros, pero que no obstante encontraba en su corta longitud dos importantes dificultades: el paso del río Guadiel y el aún más complicado del Guadalimar. Este último estaba incluido en el tramo de Linares a Baeza, cuyo trazado fue materializándose en primer lugar, sin excesivas dificultades, durante la década de 1870. El proyecto y construcción de la carretera fueron desarrollados por José María Iturralde, un notable ingeniero de Caminos muy vinculado a la provincia de Jaén.

Para el paso del río Guadalimar, se contempló la construcción de un puente de tres tramos rectos, constituido por vigas metálicas de alma llena apoyadas sobre pilas y estribos de fábrica (figura 2).

El ingeniero Iturralde puso todo su empeño en proyectar de modo racional este puente, aplicando las nuevas herramientas de Cálculo Estructural. Además de diseñarlo con eficacia, probablemente pensaba en consagrarlo como modelo de la tipología, estímulo que debió llevarle a publicar con todo detalle los pormenores de su diseño en la Revista de Obras Públicas (Iturralde 1886). Precisamente por esta intervención puede ser recordado como un competente ingeniero estructural.

Inaugurado en 1889, el puente se mantuvo durante medio siglo con esta configuración original. Fue concebido, como ya se expuesto, como un puente de carretera, pero no tardaría en ser compartido por otro medio de transporte. Desde principios del siglo XX, una de las líneas de la red de tranvías de Linares y Úbeda, el *Ferrocarril de la Loma*, pasaba por encima de él, sumando de modo necesariamente no contemplado en su diseño sus cargas a las de la carretera.

Con todo, su comportamiento fue satisfactorio, no planteándose su refuerzo hasta mucho tiempo después. En efecto, no sería hasta después de la Guerra Civil, cuando, asumido el control de la compañía por el Estado, se tuvo que acometer una reforma general de la infraestructura y el material móvil (Mendizábal-Peña 1943).

El encargado de llevarlo a efecto fue César Villalba Granda, otro aún más si cabe brillante ingeniero especialista en puentes y estructuras, quien planteó una poco convencional solución para reforzarlo: unas vigas trianguladas parabólicas en vientre de pez (figura 3)

Producto de estas dos actuaciones separadas en el tiempo, pero ambas desarrolladas aplicando con sensatez los procedimientos de la Mecánica de Estructuras, el puente presenta su actual singularidad. Dejando aparte las cuestiones patrimoniales, se considera que debido a ello, tiene interés el conocimiento de su proceso de diseño y construcción.



Figura 1
Carretera de 2º orden de Bailén a Baeza. Composición a partir de las hojas 905, 906, 925 y 926 del M.T.N. Alrededor de 1902. Instituto Geográfico Nacional

El puente de José Iturralde (1889-1942)

José Mª Iturralde y sus planteamientos estructurales y constructivos para el puente del río Guadalimar

Tras finalizar sus estudios, José María Iturralde (1841-1903) se incorporó al cuerpo de ingenieros de Caminos en 1865. Inicialmente fue a destinado a la provincia de Córdoba, pasando en 1872 a la de Jaén. Durante nueve años trabajó prácticamente en solitario como único ingeniero, hasta que en 1881 fue nombrado Jefe de Obras Públicas de la provincia. Desempeñó el cargo hasta 1894, en que fue trasladado a la de Granada. Iturralde desarrolló en este tiempo una intensa actividad como proyectista y constructor obras civiles de diversa naturaleza (nota 1).

En esta producción nos interesa destacar sus tres puentes de hierro, todos ellos de tramos rectos. Fueron las realizaciones postreras de una tipología, la de vigas de alma llena, que sin embargo y pese a la predilección de Iturralde ya había prácticamente agotado su recorrido.

Los puentes de vigas rectas en el segundo tercio del siglo XIX. A partir de diversas propuestas surgieron diferentes familias. La de las vigas de alma llena surgió en Gran Bretaña, gracias principalmente a los avances conseguidos por William Fairbairn en la aplicación del hierro laminado a la construcción. Su utilización por Stephenson en los puentes tubulares de Conway y Britannia constituyó un hito que impulsó la implantación de este tipo de puentes en Europa (Serna 2006).

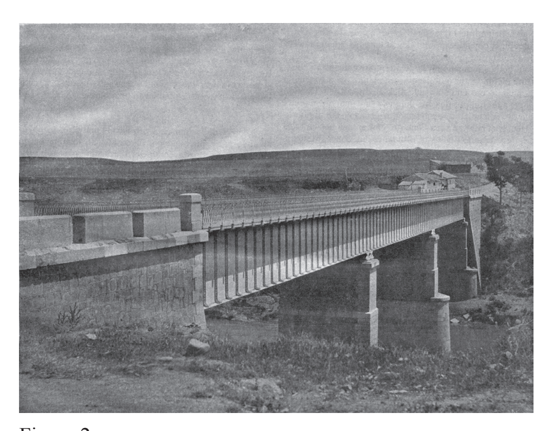


Figura 2
Configuración original del puente de hierro sobre el río Guadalimar. Revista de Obras Públicas. Biblioteca del Hospital Real. Universidad de Granada

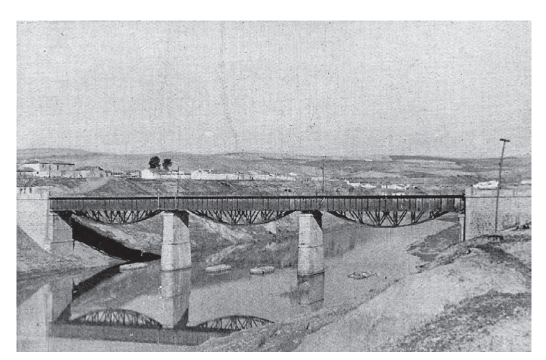


Figura 3
Puente de hierro sobre el río Guadalimar tras la reforma de 1942. (Mendizábal-Peña 1943). Biblioteca Ferroviaria. Fundación de los Ferrocarriles Españoles

Particularmente en España, fue la tipología elegida para la introducción de los puentes metálicos. El ingeniero Joaquín Sánchez Blanco construyó en 1860 el primero en la línea de Ferrocarril de Madrid a Alicante(Sánchez-Blanco 1860). Acto seguido, Eugenio Barrón la aplicó en el viaducto de la Calle Segovia en Madrid (Barrón 1861) y Salustio García Regueral en el puente tubular sobre el río Eo (García-Regueral 1861). Finalmente, una comisión formada al efecto, constituida por los ingenieros Del Valle, Martí y Mayo, terminó de normalizar la tipología con los proyectos de los puentes de Encinas, Zueros y Víboras (Navarro 2001). En la provincia de Jaén, junto a este último del Víboras también proyectaron el de Calancha sobre el Guadalquivir (figura 4).

Pero tras esta fulgurante irrupción en los primeros años 1860, los puentes de vigas de alma llena fueron enseguida postergados por las celosías tipo Town, cuya difusión fue notablemente favorecida por los técnicos foráneos venidos a España a implantar las nuevas líneas de ferrocarriles (Mendizábal 1928, vol.1). Así mismo, notables realizaciones autóctonas, como el puente sobre el Guadalhorce (carretera de Málaga a Cádiz) de Pablo de Alzola contribuyeron al éxito generalizado del nuevo modelo.

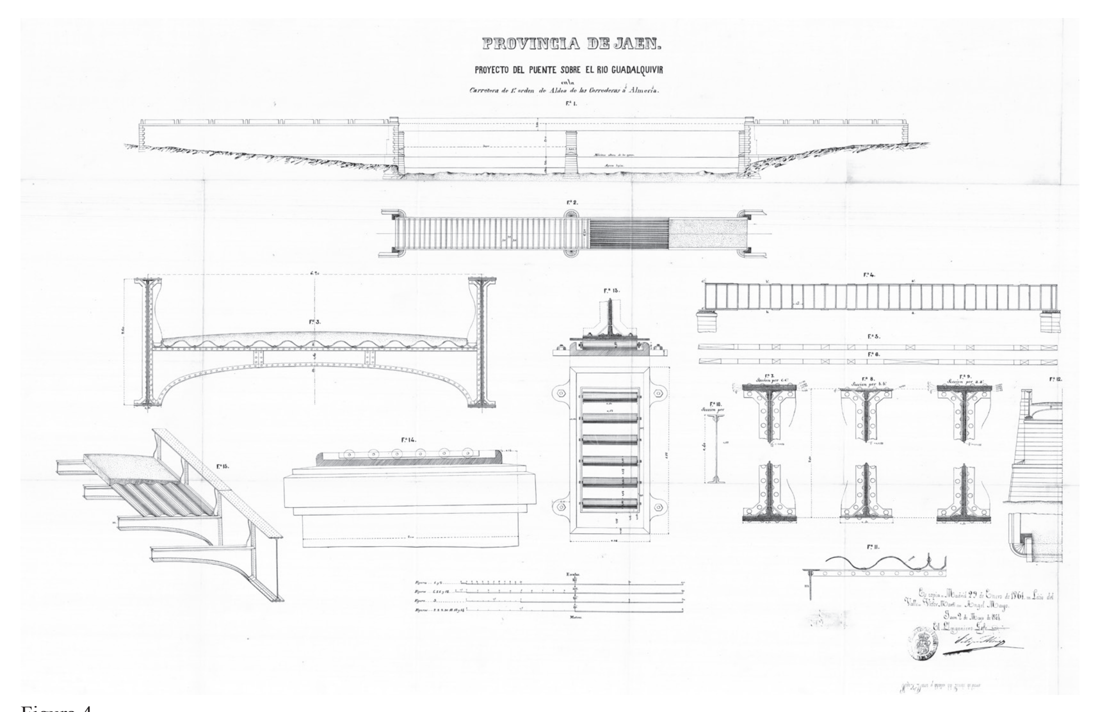


Figura 4
Tramos de hierro para el puente de Calancha sobre el Guadalquivir. Lucio del Valle, Ángel Martí y Víctor Mayo, ingenieros de caminos. 1861. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2345

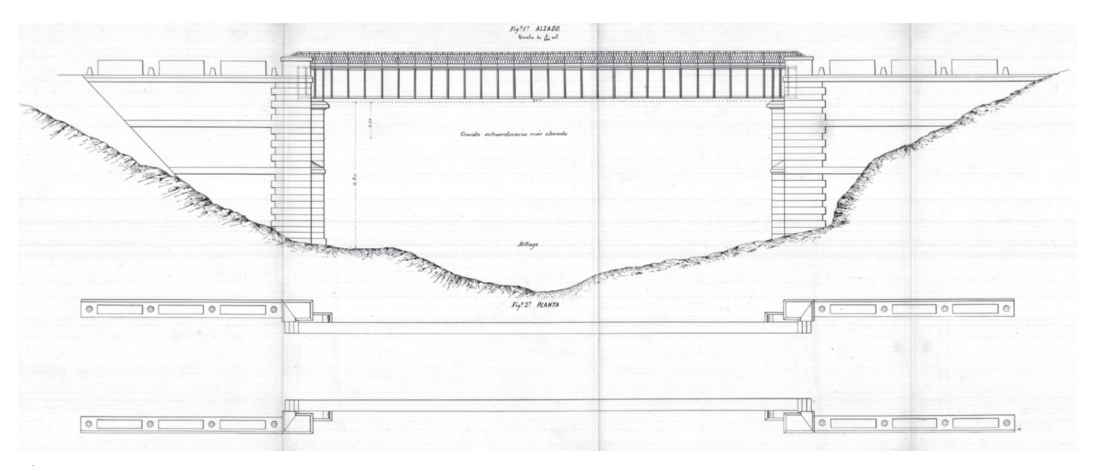


Figura 5
Puente de La Cerrada sobre el río Guadalquivir. José Iturralde, 1881. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2329

En 1880 las vigas de alma llena eran ya un modelo superado, con aplicación restringida a puentes de luces reducidas. A pesar de eso, Iturralde los adoptó para dos proyectos de puentes de carretera de la provincia de Jaén: uno sobre el Guadalquivir en el paraje denominado La Cerrada y el del Guadalimar, que nos ocupa en esta investigación. Resolvió ambos con el mismo diseño: ramos rectos de 30 m de luz formados por dos vigas de palastro de alma llena, sección doble T. Para el de La Cerrada dispuso un tramo único isostático (figura 5).

Para el del Guadalimar, en cambio, se decantó por la disposición hiperestática de tres vanos en continuidad (figura 6)

Esta disposición conllevó la adopción de vigas principales diferentes, racionalmente adaptadas a los diferentes esfuerzos de cálculo (figura 7)

De este modo, mientras que para el de la Cerrada tomó vigas de 2,00 m de canto, con palastros acumulados en las alas del centro del vano (adaptados a la ley de flectores propia de un vano isostático, con valor máximo $ql^2/8$ en el centro del vano y nulo en los apoyos), en el del Guadalimar proyectó una viga con sección transversal constante de 3,00 m de canto.

Para la determinación de las leyes de esfuerzos en este último, siguió el método de E. Collignon, considerando una carga homogénea de 715 kg por metro de viga correspondiente a las cargas permanentes y una sobrecarga constituida por cuatro fuerzas de 4,5 toneladas, correspondientes a dos carruajes de prueba. Para tener en cuenta la alternancia de esta última tuvo en cuenta hasta cinco hipótesis diferentes (Iturralde 1886).

El tablero, superior, se formaba en una original disposición por planchas combadas de palastro (figura 8).

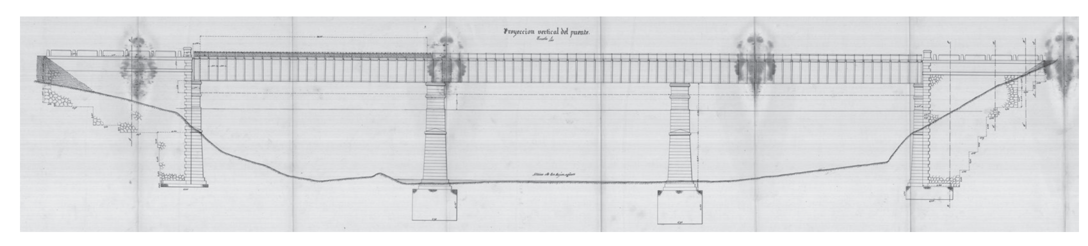


Figura 6
Puente sobre el río Guadalimar. Plano tomado del proyecto reformado. José Iturralde, 1887. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2351

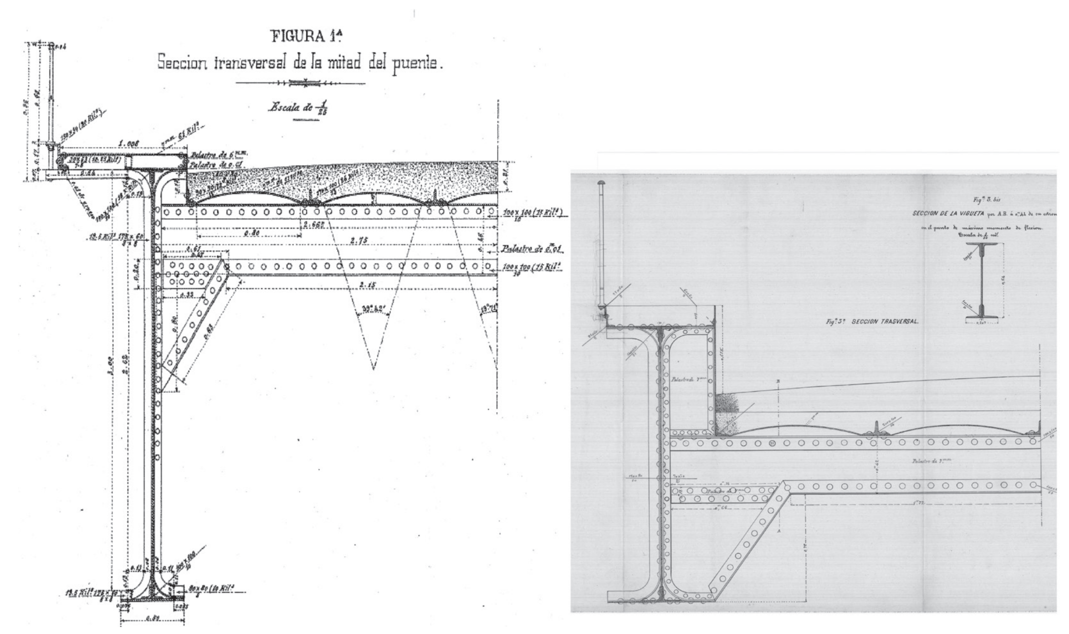


Figura 7
Comparación de la sección transversal de las vigas en los puentes del Guadalimar (izqda) y La Cerrada (dcha). Biblioteca de la Universidad de Granada y Archivo General de la Administración, respectivamente

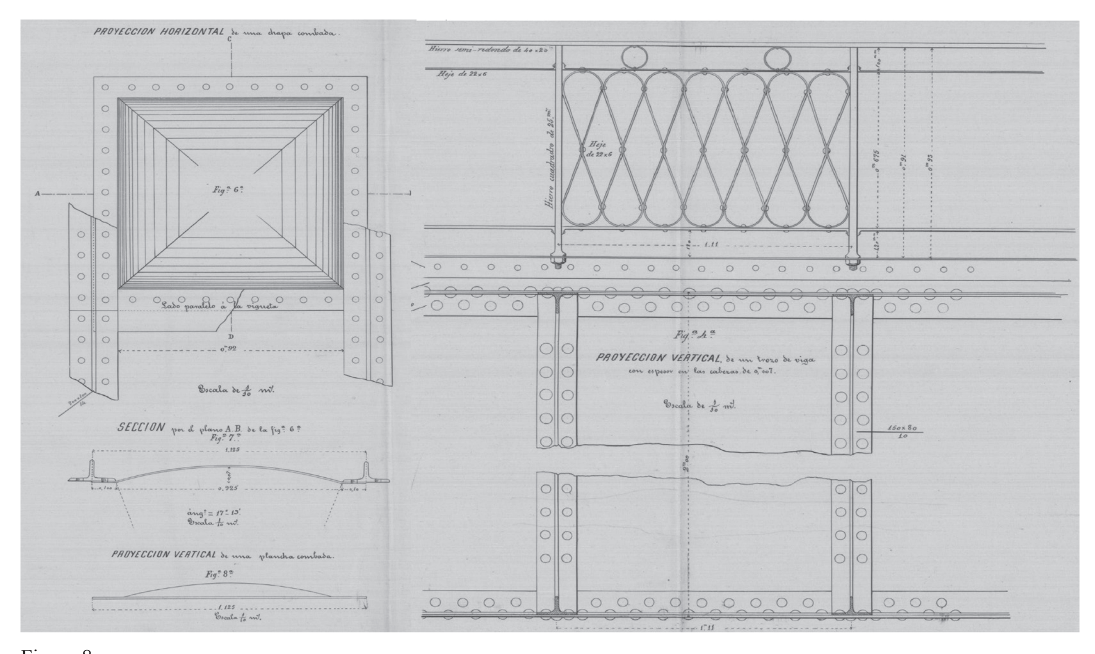


Figura 8
Detalles de las chapas combadas de palastro para el tablero y diseño de la barandilla; puentes de La Cerrada y Guadalimar. José Iturralde, 1881. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2329

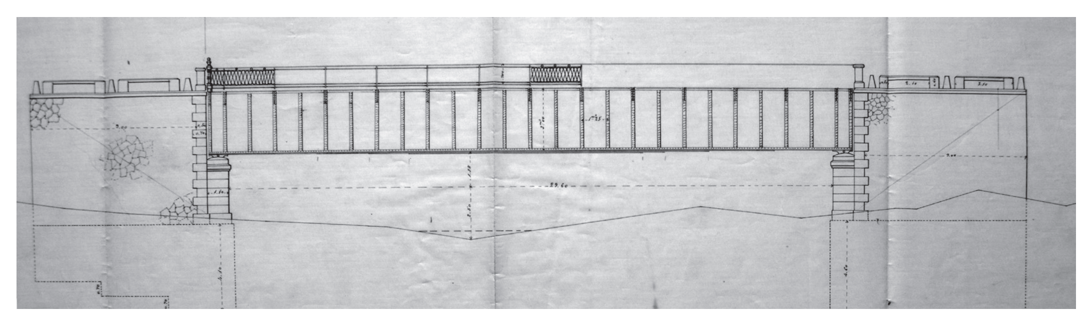


Figura 9
Puente sobre el río Guadiel, carretera de 2º orden de Bailén a Baeza. Prudencio Guadalfajara, 1892. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31922

Estas descansaban sobre viguetas transversales en doble T, las cuales se empotraban en las vigas principales mediante las correspondientes uniones roblonadas. Iturralde también calculó los esfuerzos en dichas viguetas contemplándolas en configuración estructural hiperestática de doble empotramiento

Como concesión ornamental, el puente se remataba con una original barandilla de hierro fundido con motivos helicoidales (figura 8).

Como ya se ha comentado, cuando se proyectó el puente la tipología de vigas de alma llena ya estaba claramente en retroceso. Sin embargo, Iturralde se convirtió en su último y más ferviente partidario, defendiendo su conveniencia apoyándose principalmente en argumentos de economía de hierro. Preparó un estudio comparativo con otros puentes similares (Iturralde 1886), del cual se desprendía que en el del Guadalimar se conseguía una importante mejora respecto a otros puentes de vigas alma llena (como el del río Víboras). Del mismo modo, resultaba económico con relación a las celosías tipo Town, aplicadas en puentes como el del Guadalhorce y el de Calancha (que pese a ser proyectado con vigas de alma llena finalmente se construyó con celosías).

Convencido de su idoneidad, de hecho volvió de nuevo a aplicar el modelo veinte años más tarde, ya en su etapa granadina. Efectivamente, en 1891, para la carretera de tercer orden de Cúllar de Baza a Huéscar proyectó un puente sobre el río Galera que no era «sino la reproducción sin alteración alguna» del puente sobre el río Guadalimar (nota 2). Y aunque diseñado por el ingeniero Prudencio Guadalfajara en 1892, también es claramente deudor de las obras de Iturralde el otro puente de la carretera de Bailén a Baeza, el del río Guadiel (figura 9) (nota 3)

Materialización del puente

Como era habitual en esta etapa temprana de los puentes de hierro en España, su construcción tuvo muchas vicisitudes. De partida, el proyecto de los apoyos de fábrica quedó desgajado del la de la parte metálica, de cuya fabricación siempre se encargaban empresas foráneas. No obstante, se había partido de una configuración básica general previamente definida por Iturralde como ingeniero responsable, cuyos detalles debían ser concretados en proyecto aparte.

El proyecto de la parte de fábrica fue redactado por el propio Iturralde en 1876. Pilas y estribos fueron levantados conforme a este documento inmediatamente (en noviembre de 1879 ya se habían recibido por la Administración). Y a la espera de la construcción del puente metálico, se habilitó un tablero provisional de madera.

El posterior y definitivo proyecto de los tramos de hierro, fue sometido a la supervisión de la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos en julio de 1882. Aún reconociendo el excelente trabajo desarrollado por el ingeniero de Jaén, este organismo creyó oportuno introducir algunas modificaciones, las cuales fueron incluidas en el proyecto definitivo que vió la luz en 1885. Acto seguido salieron a subasta, siendo adjudicados a la empresa belga Établissement Joseph Paris, representada en España por el cónsul Carlos Vanden Eyden.

Sus componentes fueron fabricados en las instalaciones de la empresa en Marchienne-au-Pont (Bélgica), y transportados en ferrocarril hasta la estación de Baeza (a unos centenares de metros del emplazamiento del puente). Allí fueron oficialmente recibidos en febrero de 1887 por el ingeniero Joaquín de Zayas, recientemente incorporado al servicio en la provincia de Jaén.

Se hizo entonces pública una importante discrepancia con las dimensiones de las vigas consideradas en el anteproyecto, cuyo canto era notablemente menor. Esto obligaba a la rectificación de la parte de fábrica, previamente construida. Ante la perspectiva de tener que rebajar los niveles de apoyo, una avenida extraordinaria del río Guadalimar, proporcionó a Iturralde el argumento definitivo que justificaba la necesidad de incrementar la sección de desagüe. Se resolvió la discrepancia elevando la rasante del puente, modificación que fue aprobada por la superioridad en el verano de ese año de 1887.

Corregidos los apoyos, se procedió al montaje de los elementos metálicos. La construcción del puente se completó el 30 de noviembre de 1889. Su liquidación fue suscrita por el ingeniero Ignacio Toll, último supervisor de la obra (nota 3).

El puente transformado por César Villalba Granda (1942)

César Villalba Granda y los arcos metálicos

César Villalba Granda (1893- 1950) fue otro de los miembros notables de la generación de ingenieros del 27 (Sáenz-Ridruejo 2011). Antes de la Guerra Civil, este gran «especialista de Alta Mecánica y estructuras hiperestáticas» (nota 4), había destacado por sus magníficos puentes de hormigón armado. Contribuyó notablemente a su desarrollo en España tanto desde el punto de vista del diseño (con soluciones estructurales que abarcaban desde los tramos rectos del tipo Vierendeel hasta arcos de gran luz) como con originales planteamientos constructivos, como el descimbrado con gatos introducido por él en el puente de Pizarra (Villalba-Granda 1936).

Sin embargo, al reanudar la actividad tras la contienda dio cierto giro a su carrera, promoviendo la recuperación de los puentes metálicos. En 1941, con ocasión de la construcción del puente de Tortosa (obra muy significativa por tratarse del primero en el que se utilizó la soldadura en España), se expresaba así en la Revista de Obras Públicas (Villalba-Granda 1941):

> Los puentes metálicos han sido modernamente, en España, bastante abandonados para emplear casi exclusivamente los de hormigón. Permítasenos algunas digresiones a este respecto … Decimos que en circunstancias normales, en vez de dirigir casi exclusivamente la construcción hacia el empleo de obras de hormigón, lo que hay que hacer es adaptarse a las nuevas formas y métodos de construcción, que en muchos casos, como en este de Tortosa, tendrían adecuado empleo y aún no limitarse a la estricta separación entre obras de hormigón y metálicas, sino adaptar las estructuras mixtas, como acertadamente ya se está realizando en los puentes del Tordera (Barcelona) y Posadas (Córdoba).

Se refería Villalba a dos singulares puentes mixtos españoles, resueltos con tablero de hormigón sobre dos cuchillos de vigas metálicas parabólicas con configuración Warren. Era una solución (aunque incorporando sólo los cuchillos) que él mismo acababa de poner en práctica para el refuerzo del puente del Guadalimar.

El refuerzo del puente del Guadalimar, un innovador y trascendente planteamiento estructural

En 1940 la utilización del puente por el Ferrocarril de la Loma se hacía en precario, con gran perjuicio para el servicio, por lo que se encargó su refuerzo a la Jefatura de Puentes y Estructuras. César Villalba, que estaba adscrito a este organismo técnico central, se hizo cargo de su redacción. (con la colaboración del ingeniero de la demarcación, Sebastián de Lara Barberán). El proyecto fue presentado en enero de 1941 (nota 5).

Para concretar el tipo de refuerzo más apropiado, se procedió a un reconocimiento general del puente existente. Se realizaron diversos ensayos, determinándose que los elementos metálicos del puente se encontraban muy afectados por la fatiga, tanto que no podía plantearse su refuerzo mediante la colocación de palastros adicionales. La disminución de la luz tampoco era viable, dada la importante altura a la que se encontraban las vigas principales y el notable coste que supondría construir nuevas pilas con sus respectivas cimentaciones.

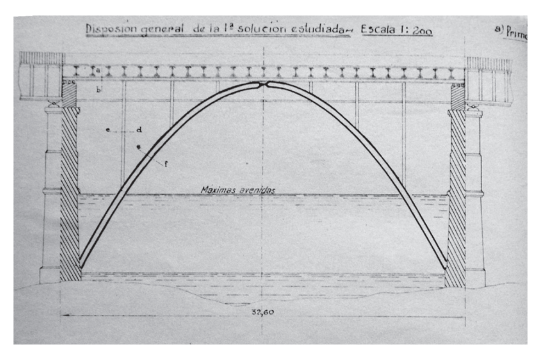


Figura 10
Propuesta de refuerzo del puente con arcos triarticulados. César Villalba, 1941. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31970

Se imponía, pues, un refuerzo mediante la adición de cuchillos adicionales, alternativa favorecida por la circunstancia de no existir arriostramientos transversales entre las vigas existentes. Villalba adoptó como premisa básica para su diseño que la estructura existente siguiera resistiendo las acciones permanentes, mientras que con la nueva se aguantarían las sobrecargas.

Estudió la idoneidad de varias estructuras de refuerzo, planteando en primer lugar una atrevida solución constituida por arcos gemelos triarticulados de directriz parabólica (figura 10). No obstante, descartó esta opción por su gran peso y por el riesgo de que al estar los apoyos inferiores muy bajos, en una crecida pudieran ser objeto de choques con cuerpos arrastrados, lo que ocasionaría el inmediato colapso.

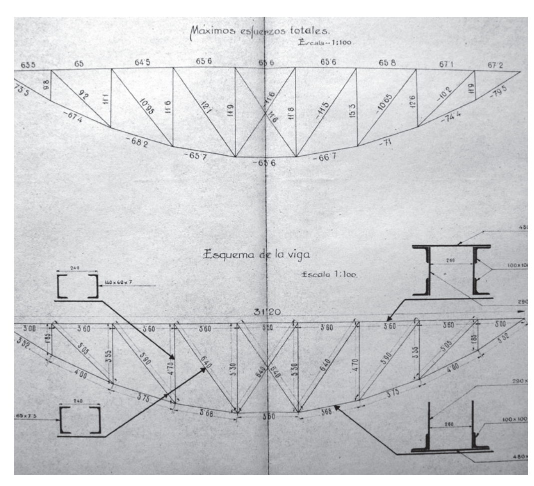


Figura 11
Esfuerzos máximos y configuración de los cuchillos de refuerzo. César Villalba, 1941. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31970

Descartados los arcos, Villalba se decantó por una solución más convencional. Estudió tres posibles soluciones: Pratt semiparabólica, Pratt parabólica y Warren parabólica. Verificó cuál de ellas respondía mejor a una hipótesis general de carga lineal uniformemente repartida correspondiente al tren de cargas contemplado en la legislación vigente. La opción más favorable resultó ser la Pratt con cordón superior recto e inferior parabólico, que una vez elegida estudió con detenimiento. Original e innovador en sus diseños de hormigón armado, adoptó aquí una postura más ortodoxa. Mediante procedimientos de Estática Gráfica (Cremona), calculó, para distintas ubicaciones del tren de sobrecarga oficial, los esfuerzos en los cuchillos y siempre en la hipótesis tradicional de estructura articulada. En virtud de este planteamiento, todas las barras quedaban sometidas a esfuerzos axiles (figura 11) pudiendo determinar las secciones transversales necesarias para la tensión de trabajo del hierro laminado.

Los diferentes elementos se constituyeron a partir de perfiles en U, angulares y platabandas, de hierro laminado y unidos todos mediante roblonado. Los cordones superiores se dispusieron en forma de π, de fácil acoplamiento con la estructura de 1889. Montantes y diagonales se resolvieron con sección



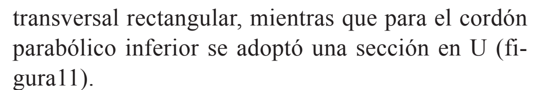
Figura 12
Disposición de los cuchillos parabólicos de refuerzo. Fotografía del autor



Figura 13
Detalle de los cuchillos parabólicos de refuerzo. Fotografía del autor



Figura 14
Vista general del puente en la actualidad. Fotografía del autor



transversal rectangular, mientras que para el cordón parabólico inferior se adoptó una sección en U (figura11).

Los dos cuchillos, de 31,20 m de luz, tenían un canto máximo de 5,30 m. Se disponían dos por vano, por el interior de las vigas primitivas de alma llena y con una separación de 2 m. Estos cuchillos se arriostraban transversalmente mediante perfiles mixtos y tenían sus propios aparatos de apoyo (figuras 12 y 13).

El puente del Guadalimar en la actualidad

El refuerzo del puente se planteaba ya desde su propia concepción como una solución provisional, toda vez que se había decidido la construcción de un nuevo puente aguas arriba. A pesar del gran esfuerzo comprometido en la reforma del puente, las condiciones de uso no mejoraron. En el proyecto de refuerzo se contemplaba que las vías del ferrocarril discurrieran por el centro del puente, lo cual no era compatible con la circulación creciente de vehículos. Se propuso desplazar a un lado la vía, lo cual suscitó dudas sobre la estabilidad del puente, que aconsejaron que el tránsito de los trenes sobre él se efectuase con una sola locomotora y a velocidad moderada (nota 6).

La construcción del nuevo puente aguas arriba se materializó en la década de los 1950, quedando el puente utilizado en exclusiva por el ferrocarril de la Loma en los años 1960. Desde entonces y hasta nuestros días subsiste como una obra de paso marginal, con uso muy limitado.

En esta situación, ha quedado prácticamente abandonado a su suerte y completamente falto de mantenimiento. El puente presenta desperfectos importantes, siendo especialmente evidente la oxidación de sus componentes metálicos, además de grietas preocupantes en sus partes de fábrica, incluso con desplazamientos de sillares. Sin embargo, por el momento conserva sus elementos primitivos, incluso la original barandilla diseñada por José María Iturralde en 1881.

Notas

1. Los datos biográficos sobre José María Iturralde han sido proporcionados por Fernando Sáenz Ridruejo.
2. Así consta en el informe sobre el puente de Galera realizado por la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos en octubre de 1892. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/3693.
3. Las circunstancias de la construcción del puente se han podido conocer a partir de su expediente de construcción, que conserva en al Archivo Histórico Provincial de Jaén. Signatura 31970
4. Con tan afortunada catalogación se incorporó al Consejo de Obras Públicas en noviembre de 1945. Archivo General del Ministerio de Fomento, Legajo 5709.
5. Se conserva una copia en el Archivo Histórico Provincial de Jaén (signatura 31970). Gracias a este documento se ha podido conocer la actuación de César Villalba Granda para el refuerzo del puente.
6. Según consta en el oficio elevado en 1943 por el ingeniero encargado del Ferrocarril Eléctrico de la Loma a la Jefatura de Puentes y Estructuras. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31970.

Listado de referencias

Barrón, E. 1861. Madrid. Prolongación de la calle Bailén y puente de hierro para la de Segovia. *Revista de Obras Públicas*, 18: 217-224.

González-Regueral, S. 1861. Puente de hierro sobre el río Eo. *Revista de Obras Públicas*, 15: 181-189.

Iturralde, J.M. 1886. Tramos metálicos para el puente del Guadalimar, en la carretera de Bailén a Baeza, provincia de Jaén. *Revista de Obras Públicas*, 11: 177-185.

Mendizábal-Peña, A. 1943. *Explotación de ferrocarriles por el Estado: memoria relativa al período 1 de julio de 1941-30 de diciembre de 1942*. Madrid: Rafael Calleja.

Mendizábal, D. 1928. *Estudio y construcción de tramos metálicos*. Vol. 1. Madrid: Sucesores de Rivadeneyra

Navarro, J. R. 2001. *El puente moderno en España, 1850-1950: la cultura técnica y estética de los ingenieros*. Vol. 1. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.

Sáenz-Ridruejo, F. 2011. Sánchez del Río, Villalba, Martín Gil y otros ingenieros de la Generación del 27. En *Ildefonso Sánchez del Río Pisón, el ingenio de un legado*. Libro del catálogo de la exposición, dirigido por P. Cassinello y B. Revuelta. Madrid: Fundación Juanelo Turriano

Sánchez-Blanco, J. 1860. Descripción del puente construido en el Ferrocarril de Madrid a Alicante, sobre el río Jarama. Revista de Obras Públicas, 15: 181-189.

Serna, J. 2006. *Los puentes del tren*. Madrid: Fundación Esteyco.

Villalba-Granda, C. 1936. El puente sobre el río Guadalhorce en Pizarra, Málaga. *Revista de Obras Públicas*, 2693:185-190.

Villalba-Granda, C. 1941. El puente de Tortosa. *Revista de Obras Públicas*, 2693:185-190.

Tipologías, materiales y técnicas de construcción de la ciudad romana de *Saepinum*

Carlos Alberto Cacciavillani

Se propone el estudio de técnicas y materiales del complejo arqueológico de *Saepinum*, antigua ciudad romana de Italia Central, Región del Molise, Italia, actualmente se configura como área arqueológica de 12 hectáreas, con la presencia de un curso de agua, el río Tamaro. La ciudad nace como *vicus,* como lugar de mercado*,* en la intersección de dos rutas de carreteras importantes.

A principios del siglo I todos los territorios italianos se organizaron, según el sistema municipal romano, con un desarrollo social y económico y con gran actividad constructiva (Gaggiotti 1988, 28).

La ciudad de *Saepinum* rodeada por una muralla en *opus reticulatum*, interrumpida por torres circulares, configura un perímetro correspondiente a un cuadrilátero con vértices redondeados y con cuatro puertas urbanas monumentales ubicadas en los ingresos de las dos calles principales, *cardo* y *decumanus*. Las tipologías arquitectónicas presentes en la ciudad son: el Foro, la Basílica con el *tribunal columnatum*, el *Macellum,* las Puertas, las cuales estan rodeadas por dos torres circulares, las Termas, las fuentes, los edificios religiosos, residenciales, industriales y finalmente el Teatro, donde la parte central de la *scaena* y el área que corresponde a la *summa cavea* han sido alteradas en el siglo XVIII, con la construcción de edificios de carácter rural. Fuera del perímetro de la ciudad se encuentran algunos edificios funerarios.

La ciudad, tipologias y tecnicas constructivas

La muralla

La muralla de la ciudad se presenta como un trabajo preciso de una buena ingeniería militar. Su perímetro consiste en una secuencia de tramos rígidamente rectilíneos y de longitud variable, interrumpidas por torres circulares colocadas a una distancia entre 24 y 35 metros entre sí, actualmente sólo existen 19 torres, el material utilizado es una piedra caliza local, cortada en pequeños bloques y en forma de pequeñas pirámides, con una base indiferenciada, cuadrada o rectangular. La calidad del tejido parece uniforme y constante. El espesor del paramento de la muralla es de aproximadamente 1,80 por una altura de 4.80 metros. En su construcción se ha empleado la técnica del *opus reticulatum* con mortero de cemento homogéneo, en la parte superior presenta una pasarela es el llamado camino de ronda (figuras 1 y 2).

Las torres

Las torres de la muralla sobresalen unos tres metros, tanto en el exterior como en el interior. El espesor de las paredes externas es mayor con respecto al interno.Todas tienen un diámetro de siete y una altura de casi once metros, las paredes presenatn un revestimiento externo con el uso de la tecnica del *opus reticulatum*, su estructura resulta sólidamente incrustada

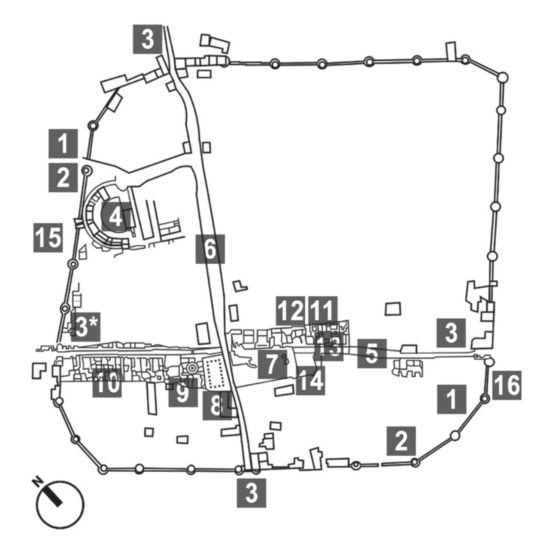


Figura 1
Plano general de la ciudad romana de Saepinum.



Figura 2
Estudio de diversas mamposterias

con la de la muralla. Tres pequeñas rendijas, distribuidas en la superficie exterior de la torre, garantizaban la cobertura defensiva del área anterior de la muralla, en la parte lateral se abren tres pequeñas ventanas.

Las puertas

Las cuatro puertas que se abren en la intersección de las dos arterias principales: el *cardo* y el *decumanus*, convencionalmente toman el nombre según la orientación: sobre el cardo: Puerta Terravecchia al sudoeste y Puerta Tammaro al noreste, sobre el decumano: Puerta Benevento al sureste y Puerta Bojano en el lado noroeste. Las puertas en su morfología no presentan diferencias entre ellas, repiten el plan de la puerta urbana clásica, con un solo arco de aproximadamente 4.80 metros, destrás de la misma se encuentra el *cavaedium*, un patio de seguridad de forma rectangular, cerrado por muros y con una contrapuerta trasera hacia la ciudad. A la izquierda de la puerta, una escalera de piedra conduce al camino de ronda sobre la muralla de la ciudad. Sobre los arcos de las puertas, en cada uno de sus áticos se repite una inscripción conmemorativa que señala una fecha cronológica precisa (2 a.C - 4 d.C) relacionada con la construcción de las murallas, de las torres y de las puertas de la ciudad. El arco de cada una de las puertas descansa sobre dos pilares cuadrados con revestimiento externo. La estructura de los pilares se realiza simplemente superponiendo grandes bloques de piedra local cuadrada, sin el uso de cal o grapa de metal. La torre sur de la puerta de Benevento presenta una peculiaridad constructiva, no presenta un revestimiento con *opus reticulatum*, sino con bloques dispuestos en planos horizontales. En el anillo externo del arco presenta cuños de piedras cuadradas concéntricas (figuras 3, 4, 5, 6).

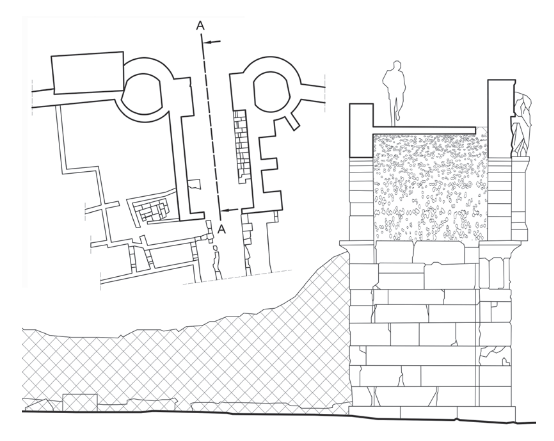


Figura 3
Puerta Bojano, planta y corte

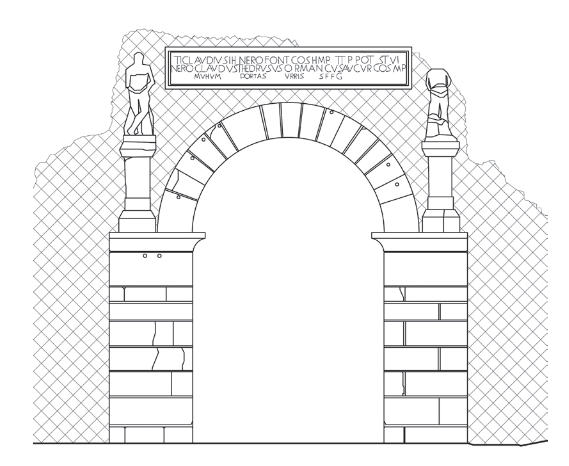


Figura 4
Puerta Bojano, fachada principal

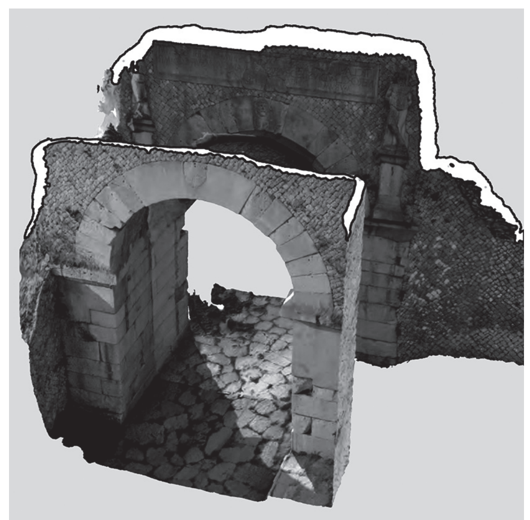


Figura 6
Puerta Bojano, modelación 3D

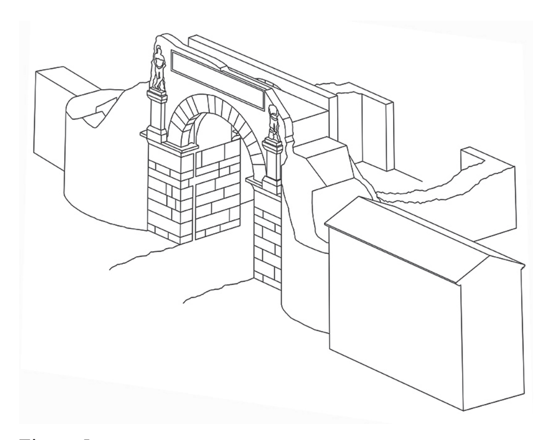


Figura 5
Puerta Bojano, reconstrucción tridimensional

El teatro

El teatro ha sido construido en las primeras décadas del siglo I a.C. según el análisis de datos arqueológicos, es un edificio monumental y el mejor conservado. Está ubicado en el sector norte de la ciudad, cerca del muro fronterizo entre Puerta Bojano y la esquina norte del recinto murario. El complejo incluye dos secciones: la *cavea* para el público y la *scaena* para las representaciones, tiene un diámetro máximo de 61.50 y una longitud de 53 metros, sobre el eje de la *cavea-escaena*. Construido íntegramente en piedra caliza local, mientras que los muros de carga son en opera cementicia con bloques unidos en líneas paralelas. El complejo teatral desde 1950 ha sido objeto de diversas excavaciones y trabajos de restauración, actualmente se presenta legible en su articulación planimétrica y espacial.

En los lados opuestos de la *cavea* existen dos entradas al teatro, *tetrapiles*, cada una formada por cuatro pilares cuadrangulares compactos, de una altura aproximada de 2,20 metros a los que se superponen arcos con función estructural, soportando por una parte el empuje ejercido por la mampostería y por otra de conexión con el edificio escénico. La estructura del muro perimetral, en este punto presenta un ingreso al teatro desde el exterior al corredor peatonal de espectadores que vienen desde fuera de la ciudad.

En excelentes condiciones, se encuentran, además del piso de la *orchestra*, los cuatro niveles de la *cavea* y los tres primeros escalones de la *media cavea*, incluido el corredor semicircular de 1.20 m. de ancho y pavimentado en piedra. La *orchestra* tiene una longitud de 8.50 m. a lo largo del eje longitudinal y presenta el pavimento original con losas rectangulares de diferentes tamaños, los escalones de la *ima cavea* tienen una profundidad de 90 cm. mayor que la de las otras dos *cavea*, de 70 cm.

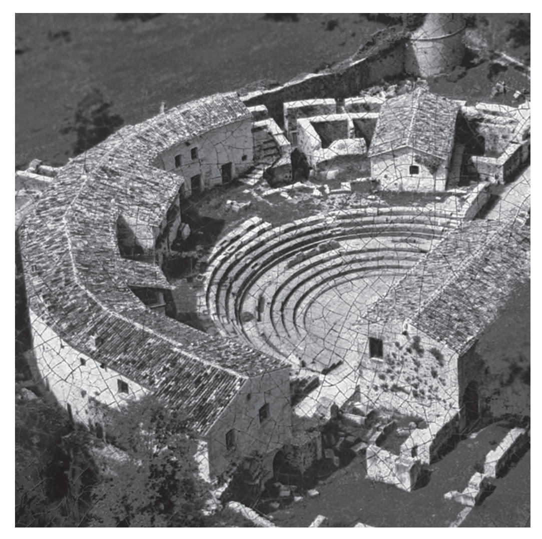


Figura 7
El teatro, vista aérea

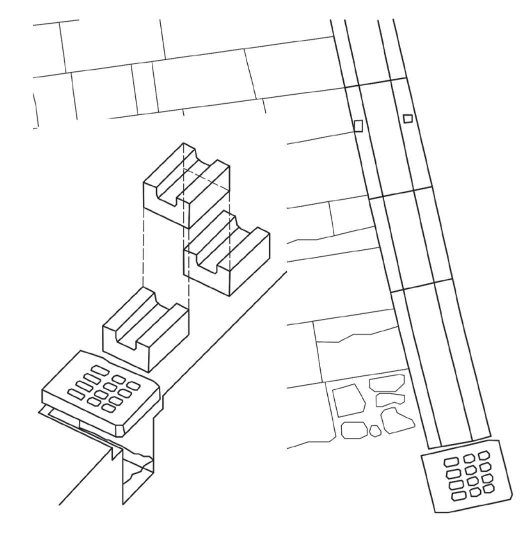


Figura 8
Foro, pavimentación y desagüe

Detrás de los últimos escalones, un parapeto semicircular, *balteus*, de un metro de altura y compuesto de bloques verticales yuxtapuestos, corre a lo largo del corredor que se separa la *media cavea*. La *orchesta* y la *ima cavea* se apoyan en contacto directo con el terreno. La *media cavea*, en cambio, descansa sobre una estructura portante, formada por dos paredes concéntricas.

Toda la estructura del teatro presenta una ingeniosa red de canales que transportan el agua de lluvia, con pendientes apropiadas, hacia el *euripo*, después se vierte en el desagüe. En general, el teatro debía tener una capacidad de unos tres mil asientos, alcanzando una altura máxima de 11metros, en comparación con el nivel de la *orchesta*. (De Benedictis, Gaggiotti, Matteini Chiari 1984, 143).

El Foro

Se encuentra en la intersección de *cardo* y *decumanus*, sobre una superficie de forma trapezoidal, ocupa un área de 1,412 m² y actualmente se presenta despojado de la cortina original de edificios públicos y civiles que lo rodeaban. Los lados cortos, paralelos al *cardo*, son de diferentes longitudes, el del noroeste de 29 y el del sureste de 23 metros. En cambio, el lado noreste, alineado con el *decumanus*, posee una longitud de 54 m. mientras que el lado suroeste es 53 m. La plaza está cubierta con losas de piedra caliza dispuestas en un plano en 82 filas paralelas. La pendiente, apenas perceptible, sigue la inclinación natural del suelo, para canalizar el agua de lluvia hacia el *euripus* que corre a lo largo del lado este y sur del Foro. Una tapa de pozo, abierta a lo largo de la trayectoria, recoge y elimina el flujo del agua al transportarlo al sistema de alcantarillado.

La basílica

La basílica poseía funciones polivalentes y se encuentra ubidada en la intersección de *cardo* y *decumanus*, en una posición característica, cerrando el lado noroeste del Foro. La construcción se remonta a los últimos años del siglo I a.C y ha sido sometida a diversas pruebas epigráficas en el pasado y a numerosas intervenciones de construcciónes, modificaciones y restauraciones (Gaggiotti 1978, 56).

Presenta una planta de forma rectangular de 30 por 20 metros, divididos internamente por un peristilo de veinte columnas, cuatro en los lados cortos y ocho en los lados largos, coronadas por capiteles de estilo jónico. El peristilo de forma rectangular de 19,50 por

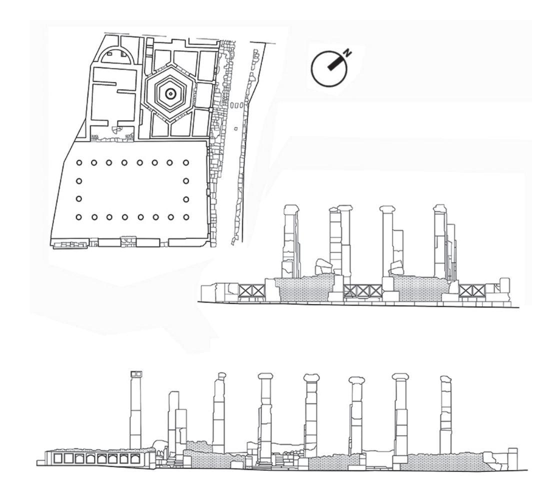


Figura 9
La basílica, planta y alzados

9,00 metros, está rodeado por un recinto más bajo de 3.60 metros. Presenta tres entradas en cada uno de los lados que dan a la calle, la principal incorpora una fuente monumental, el edificio se comunica internamente con una sala con abside, sobrelevada, que se abre sobre el lado largo opuesto y cumple una función de ingreso a través de dos pequeñas escaleras. No quedan restos del pavimento original. La técnica de construcción consiste en el uso de mampostería revocada y de piedra en correspondencia con los elementos estructurales como esquinas, jambas, cornisas, columnas y, probablemente, arcos de ingreso. Los muros perimetrales tienen una altura de 1.10 m.y un espesor de 60 cm**.** La fachada principal de la basílica mide 31.60 m. de largo y está alineada con el *cardo*, hacia la plaza del Foro, el lado corto mide 20.40 m. y se alinea con el *decumanus.* El lado corto no presenta ingreso, actualmente está enterrado. La pared del lado más largo, se encuentra adyacente al lado izquierdo del *macellum* y no presenta ingresos. Las columnas del peristilo apoyan sobre una base cuadrada de piedra caliza de 100 cm, con un diámetro en la base de 75 cm**.**

El tribunal columnatum

En la pared interior de la basílica, del lado noroeste, hay dos puertas de acceso superando tres escalones se entra, en un ambiente rectangular, situado a un nivel más elevado, pavimentado con losas de piedra caliza, después de un ingreso central, es posible acceder a una sala rectangular de 14.85 por 9.60 metros, dicho ambiente presenta un ábside en la pared posterior, esta zona puede llegar a considerarse como parte interna de la basílica, es el denominado *tribunal columnatum*, utilizado para las funciones judiciales (Cianfarani 1958,97).

El Macellum

Junto a la basílica, se encuentra el *macellum* frente al *decumanus*, elevado sobre el nivel de la calle, su construcción corresponde a las primeras décadas del siglo I (De Beneditis, Gaggiotti, Matteini 1978, 77) presenta una franja de respeto pavimentada y con un ancho de 2.75 metros. El edificio, era destinado a la venta de productos alimenticios, tiene un plano rectangular y está precedido por un atrio. En el exterior presenta un puente peatonal que cruza el decumano. Un corto pasillo conduce a un ambiente hexagonal de planta central, pavimentado con grandes teselas de piedra caliza blanca de forma irregular; los cuatro lados del hexágono conducen a las *tabernae*, que aún conservan el pavimento de ladrillo original. En el centro del hexágono existe una pileta. Los muros perimetrales se presentan construidos con guijarros y mortero, pero este es el resultado de la restauración realizada en 1958.

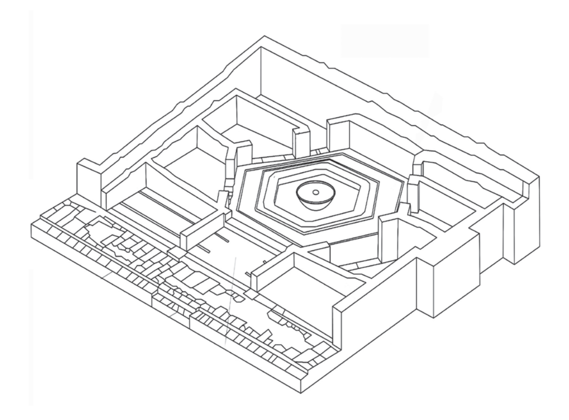


Figura 10
El Macellum, reconstrucción tridimensional

Las termas «de Silvano»

El edificio público de los baños, ubicado frente al Foro, es una de las estructuras arqueológicas más grandes de la ciudad que no ha sido escavada totalmente. Es el único edificio que se conoce su nombre original. La especificación *Silvani* puede haber sido dictada por la necesidad de distinguirlo de otra construcción termal presente en Sepino (Cianfarani, 1958, 81).

Actualmente el edificio, de finales del siglo I, se extiende con una longitud de 28.30 y con un ancho de 19.25 metros. Se integra al edificio un pórtico de 18.50 m. de largo. Desafortunadamente, solo los cinco plintos de piedra caliza sobre los que se apoyan las columnas se conservan. También algunos elementos característicos, como la presencia de numerosas paredes curvilíneas y el plano articulado, con una serie de ambientes que se comunican entre sí y se disponen simétricamente. No obstante la presencia en el área de un sistema de alcantarillado el eledificio no muestra claramente los elementos característicos de un baño termal. Todas las estructuras de los muros de principios del siglo II se construyeron siguiendo las características del uso local, es decir con bloques irregulares de piedras unidos con mortero, con un espesor de 60 cm excluyendo la exedra, que mide 90 cm.

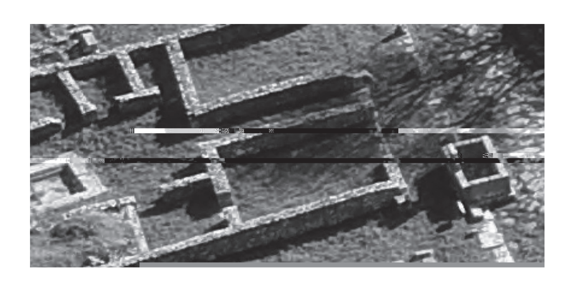


Figura 11
Las termas «de Silvano», vista aérea

Segundo edificio termal

En el tramo de la cinta muraria entre Puerta Bojano y el teatro, existe un segundo edificio termal en una porción de suelo estrecho y alargado, que presenta una secuencia de habitaciones que se remontan al II siglo. La estructura termal presenta varios puntos que se apoyan directamente en la pared interior de la muralla , es de dimensiones reducidas y denota la presencia de *túbuli* aplicados en las paredes, para el paso del aire caliente, un *hipocaustum* elevando por pequeñas columnas de ladrillos *suspensurae* colocado debajo del pavimento interno del *praefurnium* externo, para la producción de aire caliente para los ambientes y piletas dispuestos en estrecha sucesión. Gran parte de la estructura todavía está enterrada (Gaggiotti 1982, 106).

La fuente del Grifo

La fuente se llama así por la decoración presente en la fachada, representada por la imagen en relieve de un grifo, tallado en relieve. La fuente se encuentra ubicada a lo largo del lado norte del *decumanus*, a unos diez metros de la plaza del *forum* en el límite entre el area pública y privada, entre el edificio termal y una *domus* adyacente. En 1973, las partes faltantes del monumento se han integrado con nuevos elementos, en piedra caliza de Guardialfiera (Gag-

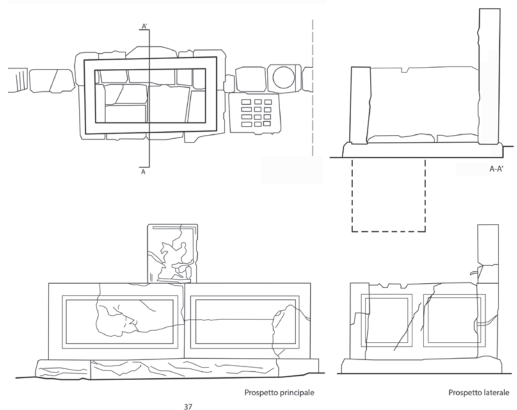


Figura 12
La fuente del Grifo, planta, corte y prospectos



Figura 13
La fuente del Grifo, planta, vista general

giotti 1973, 7). La pileta, de forma rectangular, se recuperó con su función original, mide 3.00 por 1.85 metros y tiene un alto parapeto de 89 cm. desde el suelo. El exceso de agua fluye al exterior a través de los pequeños canales practicados en el borde de los lados cortos y va hacia hacia la alcantarilla (Figuras 12 y 13).

Distrito popular

Las diferentes campañas de escavaciones han descubierto las huellas de un barrio popular, formado por casas privadas y negocios, desde Puerta Bojano a la plaza del Foro, con una longitud de unos setenta metros sobre el *decumanus*, y con una profundidad de quince metros en el extremo sur y solo unos pocos metros en el lado opuesto de la calle. La arquitectura simple y la modesta calidad de los materiales hacen pensar en un barrio popular, donde cada propiedad tiene una habitación sobre la calle que se usa como negocio y en la parte posterior el resto de las habitaciones, en la acera, a distancias irregulares, se encuentran rastros de pequeñas columnas, que denotan la existencia de un pórtico discontinuo, y la presencia de balcones elevados que dan sobre la calle.

Edificio religioso

Adyacente a la parte noroccidental del *macellum*, resulta construido un edificio sagrado del siglo I; es un ambiente de forma aproximadamente cuadrada con unos 8,70 por 9.00 metros, precedido por un gran pronaos trapezoidal, de siete metros de profundidad, con pilares de ladrillos puestos en la línea del umbral; en el centro de la pavimentación del pronaos existe una pileta cuadrada, revestida con mármol policromado. La entrada del edificio presenta un portal monumental de 3.40 metros con jambas de piedras, constituida con grandes bloques superpuestos, a través del cual se puede acceder al edificio de culto, superando un umbral de piedra; en su interior, apoyado en la pared de fondo, existe un mostrador elevado de 90 cm. de alto, recubierto de mármol.

Area Cívica, Comercial y Artesanal

Después de cruzar el *cardo*, continuando por el *decumano* en dirección a la Puerta Benevento y adyacente al lado norte del Foro, existe un área, objeto en varias ocasiones a investigaciones arqueológicas correspondiente a un conjunto de volúmenes, que emergen del suelo, en forma homogénea y bien ordenados

Curia

Es el primero de los edificios, probablemente la sede de los decuriones (Cianfarani 1978, 42), ubicado en la esquina entre el *cardo* y el área del Foro, presenta una planta rectangular de 11.10 por 14.25 metros y consta de un solo ambiente, con un frente hacia la plaza del Foro. Dispuestos en dos filas, se encuentran ocho plintos cuadrados de un metro de lado colocados a intervalos regulares, lo que sugiere la existencia de un pronaos con columnas. En el interior, el pavimento, del cual sólo quedan fragmentos modestos, está construido con grandes teselas de piedra caliza, cortadas irregularmente.

Comizio

Adyacente al anterior se encuentra un segundo edificio más pequeño, perfectamente orientado sobre el

Foro, con una planta rectangular de 12,00 por 7,80 metros, precedido por una fachada con cuatro pilares; Internamente dividida por una pared transversal, larga 4,50 metros en dos espacios diferentes, el primero pavimentado con grandes losas de piedra caliza bien conservadas, el segundo, más antiguo, con una pavimentación en *opus signinum*, con inserciones de teselas blancas, parte alineada, parte distribuida irregularmente.

Edificio Industrial - Templo dedicado a Júpiter Excelente Máximo.

El cuerpo trasero es el podio de un templo dedicado a Júpiter de 10.50 por 9.25 metros, dividido por una pared transversal en dos habitaciones, de igual tamaño. El edificio data de principios del I siglo. La excavación estratigráfica del interior del podio, realizada en los años 1977-1978, mostró la presencia de superposiciones de edificaciones. La presencia de piletas impermeables e interconectadas es la hipótesis de la existencia de un edificio industrial, una *fullonica*, destinada para el procesamiento y limpieza de paños.

Edificio de culto imperial

Es el cuarto del conjunto, está destinado al culto, de planta cuadrada de 10.00 metros de lado, con un muro perimetral. La portada que mira hacia la plaza del Foro está precedida por dos escalones y el pavimento está construido por losas de piedra local de caliza blanca, perfectamente cuadradas, dispuestas uniformemente en series paralelas.

Casa del Impluvium

Continuando por el decumano, en dirección hacia la Puerta Benevento, en el lado izquierdo, se han encontrado restos de una *domus* pompeyana. A los lados del ingreso existen dos ambientes iguales de 5.30 por 6.20 metros, precedido por un pórtico, un corredor conduce al atrio, en cuyo centro se encuentra una pileta de piedra caliza el *impluvium*, constrruido en piedra calcárea, enmarcada con molduras. Junto a la casa existen los restos de un molino de agua ubicado en un foso estrecho, construido en el borde del *Decumanus*.

Frantoio oleario trapetum

Cierra la secuencia de edificios una estructura de carácter industrial, el *trapetum*, frantoio oleario, que da a la calle con un pórtico; dicha estructura presenta las paredes laterales alineadas con el *cardo* y se accede por la parte trasera a un patio de forma cuadrada, provisto de *impluvium* central, desde el cual, a través de un pasillo lateral, se ingresa por la izquierda a un pequeño ambiente rectangular. A la derecha a través de un ingreso independiente encontramos una gran área con cinco grandes piletas circulares de terracota, construidas sobre el terreno y conectadas entre sí por canales poco profundos.

Edificios Municipales

En el lado suroriental corto del Foro, contrapuesto al frente de la basílica, fueron excavadas cuatro habitaciones, de la misma profundidad de 5.90 metros, dispuestos en una secuencia ordenada, de acuerdo con un esquema planimétrico elemental y repetitivo. La pared posterior, común a todas las habitaciones, tiene una longitud de aproximadamente 20 metros, y las paredes divisorias de las habitaciones son perpendiculares, en forma de peine bien definido, cuatro plintos incrustados en el suelo son el testimonio residuo de un pórtico colocado frente a los edificios. La primera sala, desde el sur, tiene una planta rectangular y un pavimento en *opus signinum* de color rojo, con inserciones de teselas policromadas. La segunda sala ha sufrido una reducción parcial de la profundidad, al insertar una nueva pared posterior, paralela y avanzada en comparación con la anterior: el pavimento presenta un diseño en *opus sectile*, cubierto con baldosas cuadradas de mármol policromado de 29 cm de lado. La pérdida de una parte de las baldosas ha puesto al descubierto grandes extensiones de solera. La tercera sala tiene un piso de mosaico, con teselas blancas colocadas oblicuamente, rodeados por una doble fila perimetral de teselas negras.El último ambiente ha devuelto solo algunos rastros fragmentarios del nivel del piso original: de hecho, las posteriores operaciones de manipulación y remoción han expuesto casi por completo la solera del pavimento, al centro, paralela a las paredes laterales, se encuentra una canal de drenaje del agua. Cierra la secuencia de las

cuatro habitaciones una fuente, que ocupa una estudiada posición de esquina, con el frente principal frente al *decumanus*, con una planta cuadrada de 6 por 6 metros, la fuente se coloca, perfectamente alineada, con los volúmenes anteriores presentes al lado del Foro, constituyendo un elemento urbano de gran importancia.

Edificios Funerarios

Fuera de las murallas de la ciudad, en correspondencia con el eje vial más importante, del *decumanus*, se han encontrado los restos de dos monumentos funerarios. En la época romana, especialmente en los años transcurridos entre el final de la república y los comienzos de la era imperial, los monumentos funerarios, pertenecientes a importantes personalidades de la nobleza municipal y la aristocracia mercantil, tuvieron una gran difusión (Torinelli 1968, 48).



Figura 14
El mausoleo de Caius Ennius Marsus

Mausoleo de Caius Ennius Marsus

El mausoleo está ubicado a lo largo del antiguo camino del ganado, a unos 75 metros de la puerta de Benevento, fuera de la cinta muraria: fue reconstruido e integrado durante los años 40 utilizando cuando fuera necesario las piezas originales, la datación de Construcción del edificio se remonta entre finales del siglo I a C.y los primeros años del siglo I. Se trata de un monumento en forma de túmulo funerario, de origen etrusco, que se compone de un tambor cilíndrico colocado sobre una base cuadrada de 10.12 metros de lados y de 1.80 de altura, constituido por bloques de piedras superpuestas (Figura 14).



Figura 15
El mausoleo de Publius Numisius Ligus

Mausoleo de Publius Numisius Ligus

El mausoleo de Publius Numisius Ligus se encuentra fuera de la puerta de Bojano, a la derecha, a unos 70 metros del antiguo camino del ganado (Figura 15). De Publio Numisio Ligure sólo sabemos lo que está escrito sobre su tumba. Se puede dar una fecha de su construcción, aproximadamente durante la primera mitad del siglo I. es decir, en un período posterior con respecto al otro monumento funerario (Maribelli 1982, 186).

Lista de referencias

Gaggiotti, Marcello. 1978. «Le iscrizioni della basilica di Saepinum e i rettori della provincia di Samnium», en *Athenaeum*, 56.

Gaggiotti, Marcello. 1973. *La fontana del Grifo a Saepinum*, Sopraintendenza ai Monumenti, alle Antichità e alle Belle Arti del Molise.

Gaggiotti, Marcello. 1982. *Le terme del foro in Saepinum. Museo documentario dell'Altilia*, Campobasso.

Gaggiotti, Marcello. 1988. «Frammenti epigrafici inediti da Saepinum pertinenti alla gens Neratia», in *Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia di Perugia*, Studi classici, vol. 25.

Cianfarani, Valerio. 1958. *Guida delle Antichità di Sepino,* Milano.

De Benedictis, Gianfranco; Gaggiotti, Marcello; Matteini Chiari, Maurizio. 1984. *Saepinum*, Verona: Enne.

Torelli, Mario. 1968. «Monumenti funerari romani con fregio dorico», in *Dialoghi di Archeologia*, 2.

Maribelli, Paola. 1982. *Il mausoleo di P. Numisius Ligus in Saepinum. Museo documentario dell'Altilia*, Campobasso.

La trabazón de las fábricas de ladrillo y el aparejo fingido

María Soledad Camino Olea
María Ascensión Rodríguez Esteban
María Paz Sáez Pérez
Alfredo Llorente Álvarez
Alejandro Cabeza Prieto
Fco. Javier León Vallejo

En el siglo XIX, coincidiendo con el auge de la arquitectura latericia en España, los ladrillos, que hasta entonces se venían elaborando manualmente, comenzaron a fabricarse mecánicamente, lo que permitía conseguir piezas bien cocidas y escuadradas. De manera general, estos ladrillos industriales se elaboraban de dos tipos diferentes: el llamado ladrillo fino o prensado y el ladrillo ordinario. El primero se caracterizaba, según decía Rebolledo, por «estar hecho con arcillas escogidas, perfectamente moldeado, de aristas vivas y superficies tersas, empleado preferentemente en los paramentos exteriores de los muros» (Rebolledo 1910). Por su parte, el denominado ordinario presentaba mayor rugosidad y tenía las aristas peor rematadas, siendo fabricado con la intención de revestirlo (Rodríguez 2014).

Los ladrillos finos eran más costosos y se utilizaban en la cara exterior de los muros formando una fábrica perfectamente aparejada, cuidando que las juntas verticales o llagas estuvieran alineadas, luciendo el ladrillo en toda su morfología y color, sin recibir ningún acabado exterior. Además, estas fábricas se levantaban con juntas, a hueso, muy finas de manera que el mortero quedaba oculto en los rebajes que las piezas tenían en sus tablas (figura 1).

Sin embargo, en centurias anteriores, en las que la arquitectura de ladrillo ya estaba extendida en prácticamente todo el territorio español, el ladrillo utilizado era el denominado de tejarel cual, se elaboraba manualmente, por lo que carecía de un formato regular, presentaba alabeos y descuadres y, además, mostraba un amplio abanico de tonos y colores. A pesar de ello, se ponía especial cuidado en su disposición a la hora de ejecutar la fábrica, con el fin de conseguir una buena trabazón entre ellos, procurando que las llagas de dos hiladas consecutivas no tuvieran continuidad en la vertical, tanto en la cara vista del muro como en todo el espesor. No obstante, y a pesar de lo dicho, la morfología del propio material daba como resultado fábricas de ladrillo irregulares en cuanto su aparejo (figura 2).

Queriendo mejorar este resultado final, y en función de los estilos arquitectónicos de los edificios, se llevaron a cabo diversas técnicas que pretendían maquillar la cara exterior de los muros, para conseguir un aspecto de fábrica ordenada y regular. Estas actuaciones se hacían de diferentes maneras, en función de si se intervenía sólo en las juntas de mortero, en los ladrillos antes de formar la fábrica, o se trabajaba en todo el paramento latericio, en lo que se puede llamar, decoración de la superficie. Cuando la intervención se llevaba a cabo sólo sobre las juntas de mortero, el propósito era dejar visibles los ladrillos de las fábricas, pero disimulando sus irregularidades, tratando de emular un aparejo perfectamente ejecutado. Por su parte, y cuando no importaba ocultar los ladrillos originales del muro, la solución pasaba por recubrir todo el paramento y dibujar sobre el mismo, utilizando diversas técnicas. En ambos casos, aunque con diferentes intensidades, los métodos empleados conseguían mejorar notablemente el aspecto del muro, a la vez de protegerlo frente a la acción de los agentes atmosféricos.



Figura 1
Fábrica de ladrillo prensado con aparejo de tizones y juntas a hueso (Autor 2001).

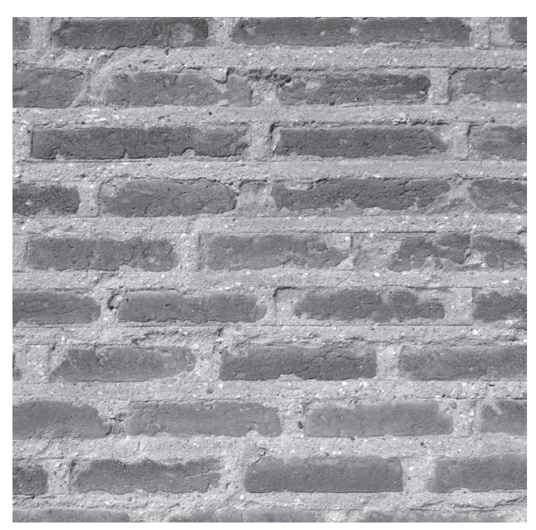


Figura 2
Fábrica de ladrillo de tejar y gruesas juntas de argamasa (Autores 2008).

En esta comunicación se van a mostrar estos aparejos manipulados, basándonos en muestras de edificios de la Comunidad de Castilla y León, donde la arquitectura de ladrillo está muy extendida, explicando las técnicas y los tipos diferentes que se pueden encontrar, cada vez menos debido a desafortunadas actuaciones de restauración y rehabilitación que han hecho desaparecer su aspecto original.

La construcción del muro

En la construcción de los muros de fábrica de ladrillo, las piezas se van disponiendo de tal manera que exista trabazón entre ellas, lo que no implica que con la traba se consiga un aparejo. Es importante tener este aspecto en consideración de cara al análisis que se va a realizar en este estudio, en el que se quiere dar visibilidad a este fenómeno en el que las fábricas trabadas, pero carentes de un aparejo concreto, son tratadas con posterioridad para conseguir un aspecto de muro aparejado.

A principios del siglo XIX, Villanueva dejaba clara la regla principal que ha de seguirse:

> Llámese trabazón el órden de colocar ladrillos, piedras y demás materiales, de modo que se aten, entrelacen y unan unos con otros: se debe observar por regla constante que toda junta de dos ladrillos quede cubierta con otro ladrillo de hilada superior… Nunca se dejará una junta sobre la otra,…., pues en esto consiste la solidez de la obra (Villanueva 1827).

Este mismo principio es fundamental para el aparejo, pero en éste se introduce otro factor importante, la ordenación en ambos sentidos. Así lo explicaba Cassinello, cuando establecía que «en la construcción de los muros es necesario que las piezas se ordenen unas sobre otras, solapándose, tanto en el sentido horizontal como en el vertical; esta colocación es lo que se denomina aparejo» (Cassinello 1971).

Atendiendo a estas premisas, en las fábricas ejecutadas con ladrillo tejar, la disposición de las piezas buscaba una buena trabazón, recurriendo a la colocación de las hiladas en la horizontal y evitando la continuidad de las llagas en hiladas consecutivas. De esta manera, los ladrillos se iban solapando tanto en horizontal como en vertical, pero sin llegar a ordenar las piezas de manera totalmente regular, por lo que su traba no puede llegar a considerarse un aparejo, estrictamente hablando. En este sentido, cabe reseñar que era muy complicado alinear las juntas verticales y mucho más todavía, darles el mismo espesor, si contamos con que las piezas de ladrillo tenían diferentes tamaños.

Realmente, hasta la fabricación mecánica de los ladrillos, que producían ladrillos de morfologías homogéneas, no se ha podido hablar de aparejo de las fábricas. A partir del siglo XIX, tanto los ladrillos finos como los ordinarios, se ordenaban en horizontal y en vertical, incluso combinando distintas disposiciones que organizaban elementos ornamentales. En este sentido, la colocación a tizonesen la cara exterior del muro y el sistema de trabar, fue el que de manera recurrente se utilizó en los edificios levantados en torno a 1900. Tal fue su uso que llegó a tomar tintes nacionalistas, llegándose a denominar «aparejo a la española» (Adell 1986).

De manera general, los muros de fábrica de ladrillo visto de las fachadas tenían grosores superiores a un pie, con un sistema constructivo que se basaba en levantar dos caras claramente diferenciadas pero entrelazadas entre sí: la cara exterior, que como se ha visto, tenía cierta regularidad, y llevaba una construcción ordenada, en mayor o menor medida, en función de la homogeneidad morfológica de los ladrillos. Y la interior, que trasdosaba a la exterior, y que al quedar oculta por el revestimiento interior. Si el muro presentaba un espesor importante se ejecutan dos hojas con ladrillos a tizón, alternando ladrillos enteros y terciados, y entre las dos hojas se rellenaba con trozos de tejas y ladrillos, piedras y cal.Con el fin de asegurar una correcta trabazón entre ambos frentes, se construían a la vez, como así explicaba Villanueva:

> Cuando las paredes son de poco grueso ó cítaras, como de un pie, &c. un oficial solo las puede construir; pero si son de mas grueso, son precisos dos, para que uno forme una frente y otro la otra, procurando vayan unidos en el trabajo y colocacion de las trabazones y aplomos (Villanueva 1827).

Por otra parte, además de lo dicho, hay que tener en consideración las juntas de las fábricas, ya que en función de su espesor y de su colocación con respecto al plano exterior de los ladrillos, se muestran muros de apariencias diferentes. Así mismo, hay otro factor muy importante a considerar, que tiene que ver con su envejecimiento, porque las fábricas con tendeles gruesos tienen más riesgo de lesiones frente a la humedad. No se debe olvidar que el rejuntado es lo primero que suele erosionarse por la actividad del agua de lluvia o de la que asciende por el terreno

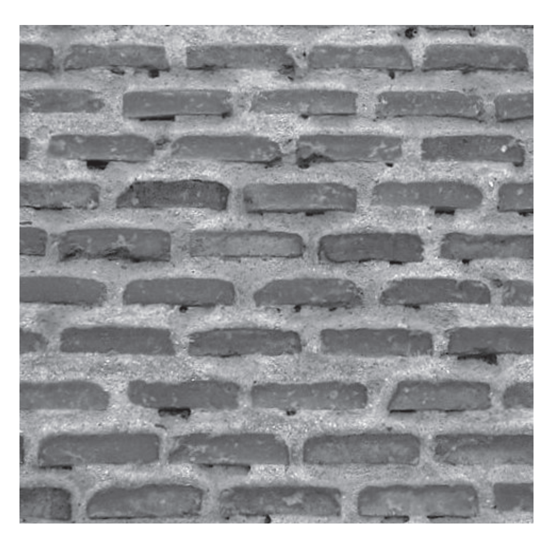


Figura 3
Fábrica con las juntas erosionadas (Autor 2009).

(figura 3). En este sentido, cuando los tendeles se acercan al grueso de los ladrillos, el riesgo de erosión y alteración es mayor (Cristini 2009).

Se da la circunstancia de que los ladrillos de tejar, entre los siglos XII y XVII, tenían gruesos que oscilaban entre 30 y 40 mm y se trababan con tendeles entre 30 y 50 mm, (Camino 2003),[1] siendo en muchos ejemplos, estos últimos de mayor espesor que aquellos. Por tal motivo y con el fin de evitar estas lesiones, el muro se trataba con una técnica que se aplicaba sólo a las juntas y que se explica a continuación, de ahí su importancia en este estudio.

Las técnicas de maquillaje del muro (técnicas de acabado y decoración de superficies)

Buscando mejorar la imagen de las fachadas de fábrica de ladrillo irregular, normalmente el de tejar, y de protegerlo de los agentes atmosféricos, se llevaban a cabo diversas intervenciones, utilizando las tres técnicas siguientes: el agramilado, el retundido y el aparejo fingido.

Sabiendo de su existencia, hoy en día es muy difícil localizar inmuebles en los que todavía se dejen ver estos tratamientos, básicamente porque en las intervenciones de las últimas décadas se han limpiado muchos restos de estos acabados y además los morte-



Figura 4
Castillo de Coca (Llorente 2018).

ros se han erosionado, siendo en muchas ocasiones repuestos por otros más modernos.

Un edificio muy característico, por haberse empleado en él varias de las técnicas que se explican en este apartado es el Castillo de Coca en la provincia de Segovia (figura 4), que, según Rallo, muestra varios tipos de ornamentaciones, siendo una de ellas por medio de la llaga «el retundido» y otra mediante la ornamentación pintada «aparejo fingido» (Rallo 1996).

El agramilado

Existen diferentes acepciones para definir el agramilado, considerándose, de manera general, como una técnica que consiste en manipular las piezas de ladrillo antes de la ejecución de la fábrica, con el fin de evitar deficiencias en la superficie que se dejaría vista, e igualar las dimensiones de la cara vista.Este sistema ya era recogido por Bails en su diccionario (en el suplemento), hace más de dos centurias:

> Agramilar. v. a. Arreglar los ladrillos de que se ha de componer un edificio, pared,&c. á un mismo ancho y grueso raspándolos y cortándolos con el aciche; lo cual se llama Obra de Agramilado, ó Agramilada. Después de asentados los ladrillos en la fábrica se frota la superficie exterior de ésta con otro ladrillo, a fin de que quede perfectamente igual (Bails 1802).

Más o menos en el mismo sentido lo entiende el libro de prescripciones de obras de ladrillo del Instituto Eduardo Torroja: «los ladrillos se cortan y apomazan hasta conseguir que éstos queden uniformes en



Figura 2
Fábrica de ladrillo tejar con llagas rehundidas (Camino 2006).

dimensiones, aristas y forma» (Instituto Eduardo Torroja 1970).

Sin embargo, hay otros autores que también denominan agramilado al revoco que imita la figura de ladrillo (Matallana 1848), si bien, en este texto se van a emplear las expresiones agramilado y agramilar con la acepción más utilizada que es la de regularizar el ladrillo.

La técnica del agramilado se llevaba a cabo en ladrillos de tejar que se iban a dejar vistos en la fábrica, cuyas juntas destacaban con gran espesor, sobre todo en los tendeles, formando fajas alternas de ladrillo rojizo con mortero de cal blanco (figura 5).

En la actualidad, y dado que los edificios de ladrillo tejar tienen varios siglos, las piezas se han erosionado y es difícil distinguir aquellas que han sido agramiladas. En la figura 5 se puede observar este tratamiento en alguno de los ladrillos.

El rejuntado, el retundido y el encintado

Junto al agramilado, que era un tratamiento directo al ladrillo, se empleaban otras dos técnicas que se aplicaban a las juntas de las fábricas de ladrillo, con la doble finalidad de proteger la fábrica y de pro-

porcionarle un mejor aspecto, son el rejuntado y el retundido.

Con estos tratamientos, lo que se pretendía era proteger la fábrica, evitando la entrada de agua por la argamasa mediante el refuerzo de la zona exterior de la junta, mediante la colocación de otra de mayor compactación y que imprimiera una mayor adherencia entre ella y el ladrillo.

El rejuntado es un proceso que consiste en rascar, rellenar y darle el acabado a las juntas, siendo un término que incluso era recogido por las normas obligatorias[2]. En las fábricas más modernas se realizaba utilizando el llaguero[3], sin embargo, en las antiguas, construidas con ladrillo de tejar, el rejuntado llevaba un proceso ligeramente diferente, que explica Villanueva de la siguiente manera:

> Las juntas se remataban con la punta de la paleta corriéndola formando un planillo inclinado del grueso del tendel hasta la encía del ladrillo de la hilada de más abajo; y en las juntas se hacen las llagas con la punta de la paleta (Villanueva 1827).

Según este autor, con el rejuntado se conseguían tendeles con plano inclinado desde la hilada superior a la inferior, lo que facilitaba que el agua resbalase sobre la junta. Además, se dotaba a la fábrica de un aspecto peculiar, sobre todo porque las llagas quedaban parcialmente huecas (figuras 5).

En cuanto al retundido, es una técnica que consiste en extraer parte de la masa de las juntas, remplazándola por otra fresca, a la que se le da una forma más lineal y geométrica. De esta manera, las juntas quedan uniformes y bien recortadas y mejoran en gran medida el aspecto de la fábrica, tal y como se describe en el siguiente texto:

> Construidas las fábricas de ladrillo, si estos han de quedar aparentes en el paramento exterior, se recorren las juntas de las hiladas, extrayendo con el palustrillo el mortero hasta cierta profundidad, para rellenar después este hueco con mortero más fino o hidráulico, recortando por igual los tendeles y llagas, á fin de que á a la vista presenten el mismo ancho y hagan más regulares las hiladas (Marcos y Bausá 1879).

En muchas ocasiones, la ejecución de este tratamiento no es tan ortodoxa y el mortero del retundido no dibuja contornos muy geométricos, ya que se coloca sobre las juntas existentes, limitándose a redibujar la trama original (figura 6). Con todo, el aspecto general de la fábrica mejora considerablemente.



Figura 6
Aparejo retundido. El Perdigón, Zamora (Rodríguez 2019).

Este tratamiento de la junta es llamado «sellado» por algunos autores, como Cristini que en su investigación afirma que:

> Este modo de proteger el aparejo, con un verdadero «sello» de la junta, permite marcar las nuevas juntas horizontales sobre las existentes debajo, aproximadamente con la misma irregularidad que caracterizaba el muro originalmente (Cristini 2008).

Así mismo, esta misma autora confirma lo que se ha dicho, con relación a que se mejora en gran medida el aspecto final de la fábrica, cuando dice que: «al mismo tiempo, este sistema garantiza una adherencia perfecta entre la junta de preparación de la fábrica aparejada y su sellado con una función protectora y decorativa» (Cristini 2009).

Este estudio, basado en analizar edificios de Valencia, viene a demostrar queesta técnica se llevó a cabo por toda España, si bien, hay una característica especial que se ha detectado en la investigación realizada en algunos municipios de Castilla y León, en la que se ha visto que este retundido resalta o sobresale de las testas de los ladrillos, provocando un juego de sombras.



Figura 7
Aparejo retundido. El Perdigón, Zamora (Rodríguez 2019).



Figura 8
Aparejo retundido de principios del siglo XX (Camino 2000).

Este sistema de junta resaltada se denomina «encintado», que se puede considerar una variante del retundido, en la que las juntas se redefinen, ya que no se limitan a cubrir las originales, sino que también tapan parte de los ladrillos. Con ello se consigue una imagen mucho más regular de las piezas de arcilla cocida, y por lo tanto de la fábrica.

Respecto a estos métodos, hay que considerar que cuando la traba no dibujaba un aparejo concreto, es decir, que las llagas no estaban alineadas, el retundido lo que hacía era remarcar ese despiece poco ordenado (figura 7).

En esta variante, el encintado se sitúa sobre la junta original, por lo que, como se puede observar, el aspecto general del muro mejora mucho con esta técnica, adquiriendo una visión más limpia y ordenada del conjunto latericio. Esto es debido a que el retundido no sólo redibuja sobre la junta, sino que también tapa o cubre, cuando es preciso, parte del ladrillo (figura 7).

Esta técnica se aplicó también en elementos singulares de las fachadas, como son los aleros de ladrillo. Este hecho se constata en algunos de los inmuebles estudiados, en los que se aprecia que el encintado de las llagas de los ladrillos a sardinel que generan el vuelo del alero es exageradamente prominente, resaltando mucho con respecto al ladrillo.

Se han encontrado muestras en edificios más recientes, en torno a 1920, en los que esta técnica es llevada al extremo en lo que marcar una geometría perfecta se refiere, llegando a producir un engaño total, de manera que un aparejo que se podría tildar como tosco, con ladrillos carente de aristas vivas, como los ladrillos que se fabrican por extrusión con las tablas con acanaladuras, y unas juntas irregulares, se convierte en un aparejo limpio, sólo con maquillar las juntas (figura 8).

Estos rejuntados son realizados con pastas más blancas que las elaboradas con los morteros de las juntas, generando mayor resalte, aportando mayor cromatismo al conjunto. Estos ejemplos (figuras 7 y 8) dejan patente la clara diferencia de color, textura y acabado que tiene el mortero utilizado para el encintado con relación al mortero de la junta de la fábrica. Hay que tener en cuenta que hay una diferencia importante entre los encintados que se están analizando del siglo pasado y los de siglos anteriores, ya que en el siglo XX, las fábricas se recibían y rejuntaban con mortero de cemento, mientras que en las fábricas antiguas de ladrillo de tejar se empleaba la argamasa de cal.

El aparejo fingido

Es un revestimiento que pretende dar una apariencia diferente a las fábricas de ladrillo, mediante el uso del color. Unas veces dibujando fábricas de ladrillo



Figura 9
Aparejo fingido. El Perdigón, Zamora (Rodríguez 2019).

bien aparejadas y otras mostrando mayor libertad, introduciendo motivos vegetales o geométricos, lo que Asenjo llama versión simple y versión decorativa, respectivamente:

> La apariencia fingida del material constructivo es uno de los motivos ornamentales que con más asiduidad se formulan en los diseños de las fachadas pintadas en Málaga, ya sea en versión simple, como con un carácter más decorativo (Asenjo 2008).

El aparejo fingido es una técnica heredera de lo que se conoce como «falso despiece de sillería» que se realizaba en los muros de tapial, y que se pueden encontrar en múltiples fortificaciones de la época Almohade en el Al-Andalus (Azuar 1996). Se remonta al siglo XII, y consistía en trazar líneas horizontales y verticales sobre la construcción de tapial, utilizando diversos materiales como yeso, cal, arena o arcilla, consiguiendo un efecto óptico de aparejo isódomo de grandes sillares. Posteriormente fue empleada en la arquitectura mudéjar, y en la románico-mudéjar, para decorar los espacios interiores (Mogollón 2013).

La gran mayoría de los ejemplos encontrados muestran un aparejo fingido, quiere esto decir que, sobre un aparejo de ladrillo existente, se redibuja otro aparejo, también de ladrillo, pero de traza más regular y tono más vivo (figura 9).

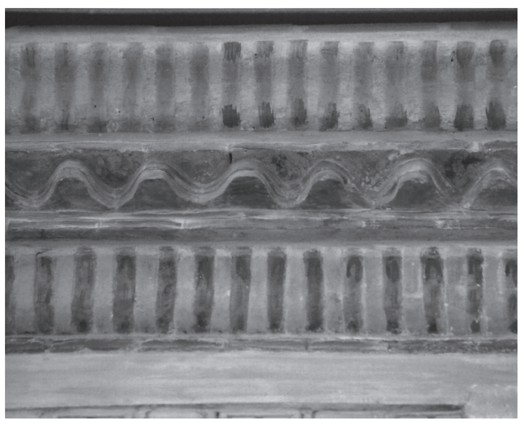


Figura 10
Aparejo fingido del alero del edificio Condes de Buendía (Camino 1998).

El método consiste en pintar, o más bien, en enlucir toda la fábrica con un mortero de cal mezclado con almagra[5], cuyo óxido de hierro le aporta el color rojizo. Sobre este revoco se trazan posteriormente las juntas blanquecinas, utilizando para ello la cal en su propio tono (figuras9, 10 y 11).

En el año 1996 se realiza un proyecto de rehabilitación de la Plaza Mayor de Valladolid, reconstruida tras el incendio que la asoló en 1561 (Rebollo 1996)

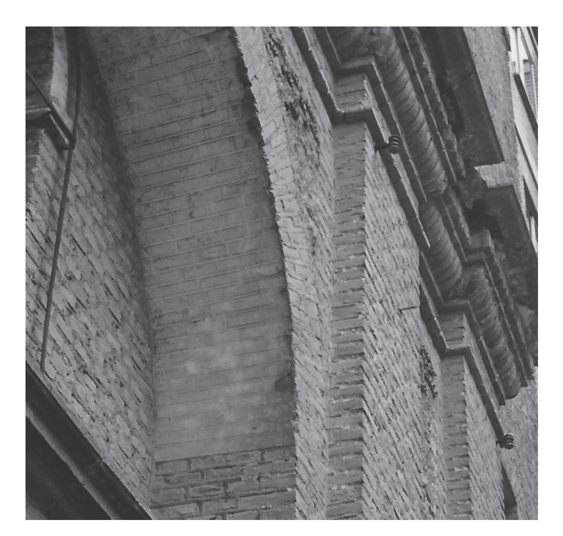


Figura 11
Arco en entrada de iglesia (Camino, 1999).



Figura 12
Castillo de Coca: motivos grecados, sardineles con aparejo fingido y fábricas con encintado (Llorente 2019)



Figura 13
Aparejo fingido en el interior de una iglesia mudéjar (Autor 1998).

en el que se iguala el color de los edificios imitando los antiguos revestimientos de almazarrón. En la rehabilitación de algunas de las fachadas más antiguas, el investigador Alejandro Rebollo explica que se han localizado antiguos revestimientos de yeso que imitaban el acabado de ladrillo, incluso en varias capas, aunque no aporta fecha de la ejecución de los mismos. En otros edificios próximos a esta zona también se había podido apreciar este tipo de revestimiento, tal es el caso de la iglesia del Antiguo convento de las Brígidas, cuyo arco de acceso tenía en su trasdós restos de antiguos encintados en ladrillos y rejuntados en mampostería con pequeñas piedras que, lamentablemente, han desaparecido en una restauración reciente (figura 11).

Era habitual que los aparejos fingidos con mayor carga decorativa se aplicaran en los interiores de los edificios, si bien, hay algún ejemplo muy singular en el que los exteriores lucen estos acabados, siendo el edificio más representativo que hemos encontrado, el castillo de Coca (figura 12).

La libertad artística de la decoración interior es muy variada, encontrándose aparejos fingidos en los que se entremezclan varias tonalidades, incluso introduciendo elementos vegetales y lineales (figura 13).

El castillo de Coca

Son múltiples los ejemplos que podemos encontrar con las juntas retundidas, tanto de inmuebles de diferentes épocas como de aparejos de diferentes ladrillos. Sin embargo, uno de los edificios más emblemáticos que contiene todas las técnicas descritas, es el Castillo de Coca, que se remonta al siglo XV. Este castillo es de estilo neomudéjar, construido con ladrillo tejar, y se puede considerar un magnífico ejemplo, altamente representativo de esta técnica. El retundido en resalte se llegó a aplicar, además de en los muros, en elementos singulares como son la arcada del vano de acceso, donde se remarcan las líneas de las dovelas de ladrillo y transversalmente presenta forma de flecha (figura 14).Además, en los muros del castillo se puede encontrar un muestrario de las diferentes formas de aplicar la técnica del retundido (figuras 4 y 12) así como otros muchos ejemplos de ornamentación con ladrillo moldurado.

Las bases de los torreones tienen un despiece muy singular, por una parte, el cuerpo principal y el listelo a sardinel muestran juntas muy marcadas con grandes espesores en los tendeles y más discretas en las llagas. Por debajo, un cuerpo semi-cónico que presenta dos variantes de esta técnica, que consiste en



Figura 14
Arco de accesoal castillo de Coca (Llorente 2019).

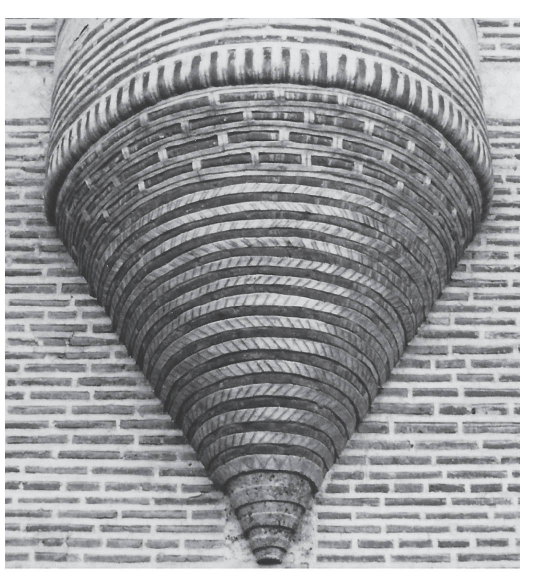


Figura 15
Detalle de la base de uno de los cubos del Castillo de Coca (Camino 1999).

una faja de cuatro hiladas con un «encintado» muy destacado que remarca la geometría de los ladrillos. Además, tiene la característica particular de que sus tendeles están escalonados, para absorber la reducción del perímetro de las hiladas en el cono. El remate de este elemento presenta catorce filas de ladrillos en los que se las llagas son inexistentes y se resaltan los tendeles en espesores superiores a las piezas de arcilla (figura 15).

Conclusiones

Mostrar una imagen de fábrica ordenada en la arquitectura latericia ha sido un objetivo que se ha perseguido desde siempre. Antes de la elaboración de piezas mecánicas, en el siglo XIX, conseguirlo exclusivamente por la colocación reglada de los ladrillos era prácticamente imposible, debido a que los ladrillos empleados eran los de tejar, que al ser elaborados manualmente, tenían formas irregulares y acabado tosco.

Este hecho fue el que propició el empleo de diferentes técnicas que trataban de mejorar el aspecto de estos muros, que se han ido empleando durante siglos, hasta la utilización de los ladrillos finos, llamados ladrillos cara vista.

Los sistemas más utilizados han sido dos, por un lado, el del retundido, mediante el cual se sellaban las juntas con un encintado, que cuando era necesario, tapaba parte del ladrillo, para darle el aspecto de pieza regular. En la mayoría de los ejemplos, este sellado resaltaba del paramento, consiguiendo un notorio efecto óptico. La otra técnica consistía en revestir todo el muro, dibujando sobre él el aparejo o motivos ornamentales, consiguiendo lo que se denomina el aparejo fingido. Ambas técnicas, aparte de mejorar su imagen, conseguían también proteger el muro frente a la acción de agentes atmosféricos.

Aunque no fueron las únicas, se puede decir que las fábricas de ladrillos de tejar fueron las que tuvieron más intervenciones de maquillaje, dado que la irregularidad de sus piezas hacía difícil que el muro presentara un aspecto ordenado.

Debido a que estos tratamientos son de acabado y revestimiento, son pocos los ejemplos que todavía perviven, dificultando las labores de investigación que permita analizarlos con mayor profundidad. De hecho, en este trabajo, algunas de sus figuras son relativamente antiguas debido a que el revestimiento, a día de hoy, ha desaparecido. Entre los que todavía subsisten, cabe reseñar el Castillo de Coca, claro

ejemplo de la mayor variedad de acabados, y en el que, afortunadamente, las restauraciones los han respetado, permitiendo seguir apreciando estas técnicas.

Por otra parte, la ornamentación que imita un aparejo de ladrillo en color rojo y juntas blancas no es exclusivo del exterior de los muros, sino que en el interior de los edificios hay múltiples muestras, que además, presentan una ornamentación más rica, entrelazando motivos vegetales o grecas.

Notas

1. En su estudio, esta autora incluye una tabla (2.2) con las dimensiones de los ladrillos y los espesores de las llagas y los tendeles de edificios construidos con fábrica de ladrillo del s. XII al s. XVIII.
2. La norma MV-201 1972, Muros resistentes de fábrica de ladrillo, incluía referencia a este término: «las juntas de las fábricas vistas se terminan con rejuntado».
3. El llaguero es una herramienta de hierro usada por los albañiles para perfilar y marcar las llagas. Llaguear es rehundir las juntas de los ladrillos (Paniagua 1987).
4. Esta técnica fue muy extendida y se puso en práctica en zonas tan recónditas como el municipio del Perdigón, en Zamora.
5. La almagra, almagre o almazarrón se compone de silicatos de aluminio y cuarzo y de hematita, que es un óxido de hierro. Se encuentra en las arcillas férricas.

Lista de referencias

Adell Argilés, J.M. 1986. *Arquitectura de ladrillos del siglo XIX. Técnica y forma*. Madrid: Fundación Universidad-Empresa.

Asenjo Rubio, E. 2008. *Urbs picta: el legado cultural de las arquitecturas pintadas en Málaga*. Málaga: Universidad de Málaga.

Azuar Ruiz, R.; Lozano Olivares, F. J.; Llopis García, T.M.; Menéndez Fueyo, J. L. 1996. El Falso despiece de sillería en las fortificaciones de tapial de época almohade en el Al-Andalud. *Estudios de Historia y Arqueología Medievales*-XI, 245-278.

Bails, B. 1802. *Diccionario de arquitectura civil*. Madrid: En la imprenta de la viuda de Ibarra.

Camino Olea, M.S. 2003.*Construcción y ornamentación de las fachadas de ladrillo prensado, la descubierto, en la ciudad de Valladolid*. http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcr78b9

Casinello, F. 1971. *El ladrillo y sus fábricas*. Manuales y normas del instituto Eduardo Torroja de la construcción y el cemento.

Cristini, V. 2008. Estudio de las fábricas de ladrillo en Valencia: análisis mensiocronológico y técnicas de acabado. *Arqueología de la arquitectura,* 5, enero-diciembre, 243-252. Madrid/Vitoria.

Cristini, V. 2009. Rajoles valencianes: Características de fábricas tradicionales en ladrillo. *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Ger y Lóbez, F. 1898. *Tratado de Construcción Civil por Florencio Ger y Lóbez. Texto y Atlas de 68 láminas con 2.079 figuras*. Badajoz: La Minerva Extremeña.

Instituto Eduardo Torroja. 1970. *Prescripciones del instituto Eduardo Torroja*. Obras de fábrica.

Marcos y Bausá, R. 1879.*Manual del Albañil*. Tercera edición. Madrid: Dirección y Administración

Matallana, M. 1848. *Vocabulario de arquitectura civil*. Rodríguez.

Mogollón Cano-Cortés P. 2013. La restauración de las construcciones de ladrillo. Reflexiones sobre los paramentos mudéjares y su expresión artística. *Estudio de Historia del arte: libro homenaje a Gonzalo M. Borrás Gualis.* Zaragoza: Institución Fernando el Católico.

Rallo Gruss, C. 1996. El castillo de Coca y su ornamentación.*Anales de la Historia del Arte 6, 13-34.* Madrid: Publicaciones UCM.

Rebolledo, J.A. 1910. El manual del constructor. Madrid: Sáenz de Jubera Hermanos.

Rebollo Matías, A. 1996.*La Plaza Mayor en el IV Centenario (1596-1996).*Valladolid: Ayuntamiento de Valladolid.

Rodríguez Esteban, M.A. 2014. *La arquitectura de ladrillo y su construcción en la ciudad de Zamora (1888-1931)*. Zamora: Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo, Diputación de Zamora.

Villanueva, J. 1827. *Arte de la Albañilería, ó instrucciones para los jóvenes que se dediquen á él, en que se trata de las herramientas necesarias del albañil. Formación de andamio, y toda clase de construcciones*. Madrid: Don Francisco Martínez Dávila.

Análisis constructivo de la armadura que cubre la actual Sala de Audiencias del Palacio de Pedro I

Cecilia Cañas Palop
Eva María Valenzuela Montalvo

La Sala de Audiencias se localiza en la zona central del lado norte del Cuarto Real Alto, coincidiendo con los ventanales de la magnífica portada del Patio de la Montería.

Esta sala, algunas estancias anexas y otras algorfas en el lado meridional, formaban junto con otras ubicadas en el lado sur la segunda planta del palacio en su origen.

Se trata de la estancia donde el monarca recibía sus visitas, actividad poco habitual en la planta alta de este edificio. Al situarse tras los ventanales de la portada del Palacio es la zona más importante de la planta superior, y en su origen competiría en esplendor con el Salón de Embajadores. Algunos autores se refieren a ella como una qubba, por su forma externa, por sus revestimientos interiores y porque se repiten los mismos esquemas que una qubba en la distribución de las habitaciones anexas.

Historia material de la armadura

Actualmente esta sala está cubierta por una armadura de lazo construida en 1908, siendo arquitecto del alcázar, José Gómez Otero, sin embargo, originariamente debió de estar cubierta por un magnifico ejemplar de carpintería mudéjar.

En algunas referencias en documentos del siglo XIX, cuando solo existía un techo raso, se comenta la necesidad de construir nuevamente su media naranja (Chávez González 2004). Según la misma autora, tampoco es original la altura de la estancia, ni la estructura de sus cubiertas ya que en documentos del año 1845 hay referencias acerca de la necesidad de concluir exteriormente el cuerpo que se eleva en la fachada. Se elevó aproximadamente un metro colocándose dos calados de yeso para ventilación en su camaranchón.

Se desconoce el momento en que se produjo la desaparición del ejemplar de carpintería que cubriría su techo.Algunos investigadores lo sitúan en el incendio 1762, sin embargo, las salas afectadas por ese incendio fueron descritas minuciosamente en un documento publicado por Gestoso, (Gestoso y Pérez 1984)[1], por lo que esta desaparición tuvo que producirse a partir de 1572, debido fundamentalmente al abandono del palacio por falta de recursos.

Durante mucho tiempo se han venido sucediendo reparaciones en la armadura original y su camaranchón, documentadas en el archivo del Real Alcázar de Sevilla desde 1560 y estudiadas por Ana María Marín Fidalgo (Marín Fidalgo 2006), María Dolores Mérida (Mérida Álvarez 2001) o Rosario Chávez González (Chávez González 2004) en sus trabajosde investigación, hasta que se tiene conocimiento de su desaparición y construcción de un techo raso en 1086 (Chávez González 2004).

Existe un expediente en los archivos del Real Alcázar, fechado en el año 1909 (AARR Caja 837), sobre la construcción de un techo artesonado para la Cámara Árabe. Está fechado en el mes de julio, y por los documentos que incluye, se puede conocer el de-

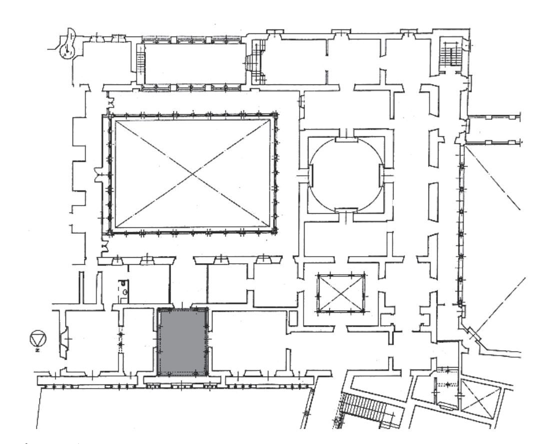


Figura 1
Ubicación de la Sala de Audiencias en el Cuarto Real Alto

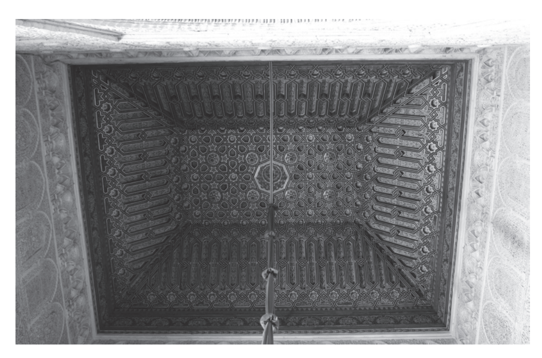


Figura 2
Imagen de la armadura que cubre la Sala de Audiencias

sarrollo cronológico de la construcción de este techo.

El 24 de julio ese año, José Gómez Otero, arquitecto del Real alcázar en esta fecha, dirige una carta al Excmo. Sr. Intendente Gral. De la Real Casa y Patrimonio, en la que se solicita la «necesaria» construcción de un techo artesonado en el Salón Árabe del piso principal, pidiendo la aprobación del presupuesto que se adjunta por un importe de diez mil seiscientas veinte y siete pesetas.

Dicho presupuesto, de fecha 23 de julio, tiene un importe final de 9.932, y bajo esta cifra, sin ninguna anotación y claramente puesta a posteriori, se sitúa la nueva de 10.627, que es la que finalmente quedó como coste definitivo.

Nuevamente con fecha de 2 de agosto de 1909, se recibe una carta con la autorización de la Intendencia a la ejecución del presupuesto. Según las facturas existentes y la relación de documentos con los pagos de los jornales, los trabajos se desarrollaron durante los meses de septiembre a diciembre, dándose concluidos los trabajos con fecha 24 de diciembre. Según el documento con el resumen de los gastos generales del artesonado estos ascendían a 8.394,87.

Con posterioridad a la fecha de su construcción no existe referencia a ninguna documentación sobre nuevas intervenciones.

Análisis constructivo. Levantamiento de la armadura

La armadura que cubre la Sala de Audiencias, tiene como precedentes en su diseño a las que, en el momento de su construcción, cubrían el resto de las salas del Palacio Alto de Pedro I, todas ellas armaduras apeinazadas, de tres paños, y con un trazado de lazo mayoritariamente de ocho, originales del Palacio Real.

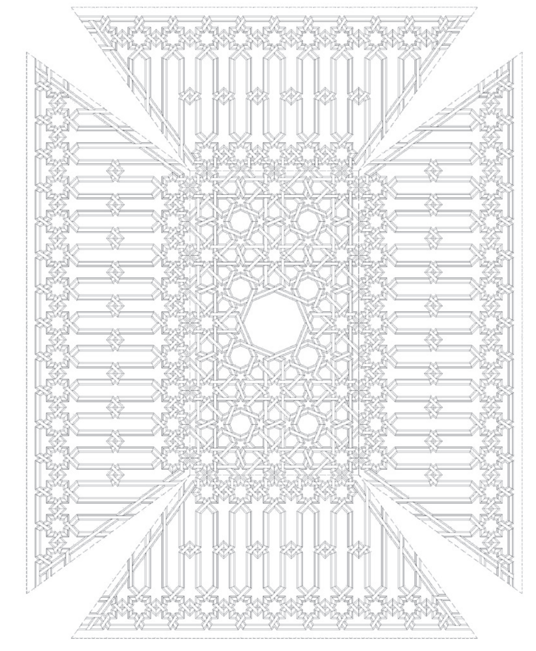


Figura 3
Levantamiento de la armadura de la Sala de Audiencias

Concretamente, la geometría del almizate es una copia de la armadura que cubre la Sala del Retrete del Rey (Cañas Palop 2010), adosando en ambos extremos del mismo dos módulos de similares características, hasta completar la diferencia en el largo de ambas estancias.

Tenemos referencias en documentos de la época que nos hablan de la realización de fotografías a las distintas armaduras para realizar el diseño de la que va a ser ejecutada:

> Por unas fotografías con tamaño 24/30 de los techos de los salones de este Real Alcázar, que sirvan de guía para el proyecto y que figuren después como datos para lo sucesivo (AARR Caja 837)

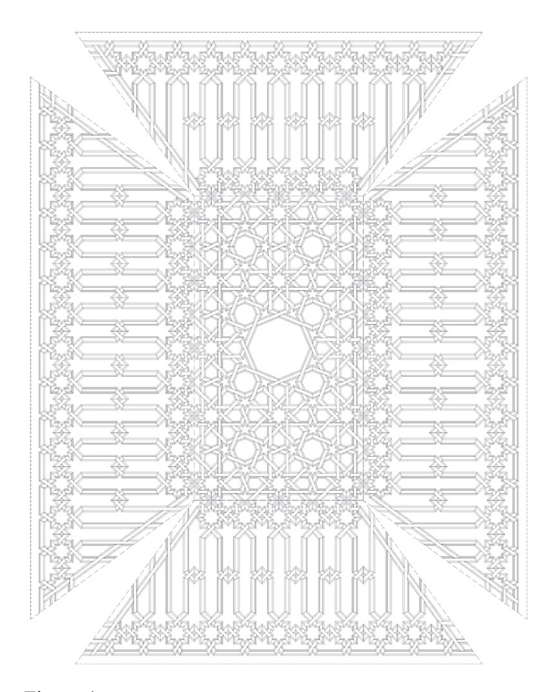


Figura 4
Estructura del almizate y de los paños inclinados

La estructura y los elementos

Todas las armaduras del Palacio Alto de Pedro I tienen un camaranchón accesible para su ventilación y mantenimiento, salvo la situada en la Sala del Mirador de los Reyes Católicos debido a la modificación sufrida en la estancia en tiempos de los monarcas (Almagro Gorbea 2015), y la que cubre la actual Sala de Audiencias. Entre ésta y la estructura de la cubierta no hay espacio físico transitable. La consolidación de la misma se ha realizado desde el interior de la sala, así como el estudio previo de sus elementos, basado principalmente en los múltiples datos que se tienen del resto de armaduras de cubiertas del palacio, y que han sido minuciosamente analizadas por la autora (Cañas Palop 2010)

Se ha elaborado, por lo tanto, una hipótesis de estructura, tanto del almizate como de los paños inclinados, que se corresponde casi con total seguridad con la estructura definitiva. La inspección visual de aquellos elementos y uniones que pueden dar lugar a alguna modificación en el soporte confirma el estudio realizado. En cualquier caso, nuestra hipótesis se ratificará en el momento en que se realice un desmontaje de los elementos que la mantienen oculta tras de sí.

Los paños inclinados

Los paños inclinados de la armadura son los elementos que asumen la diferencia de dimensiones entre la Sala de Audiencias y las distintas estancias de la planta alta del Palacio. Estos elementos no coinciden exactamente con ninguno de los que forman parte de las armaduras originales del palacio.

Los paños que más se asemejan a los que estamos estudiando son los del Dormitorio de Don Pedro (Cañas Palop 2010),sin embargo, en el cuarto de limas, el trazado necesariamente se modifica. Es en esta zona, junto con la superior, en la que se produce el encuentro con la lima del resto de la estructura, en donde las piezas, para poder terminar de encajar el trazado, se modifican y dejan de seguir el patrón establecido.

Pares y manguetas

La figura representa el corte efectuado en pares y péndolas para realizar el trazado geométrico definitivo, inserto en la estructura general del paño.

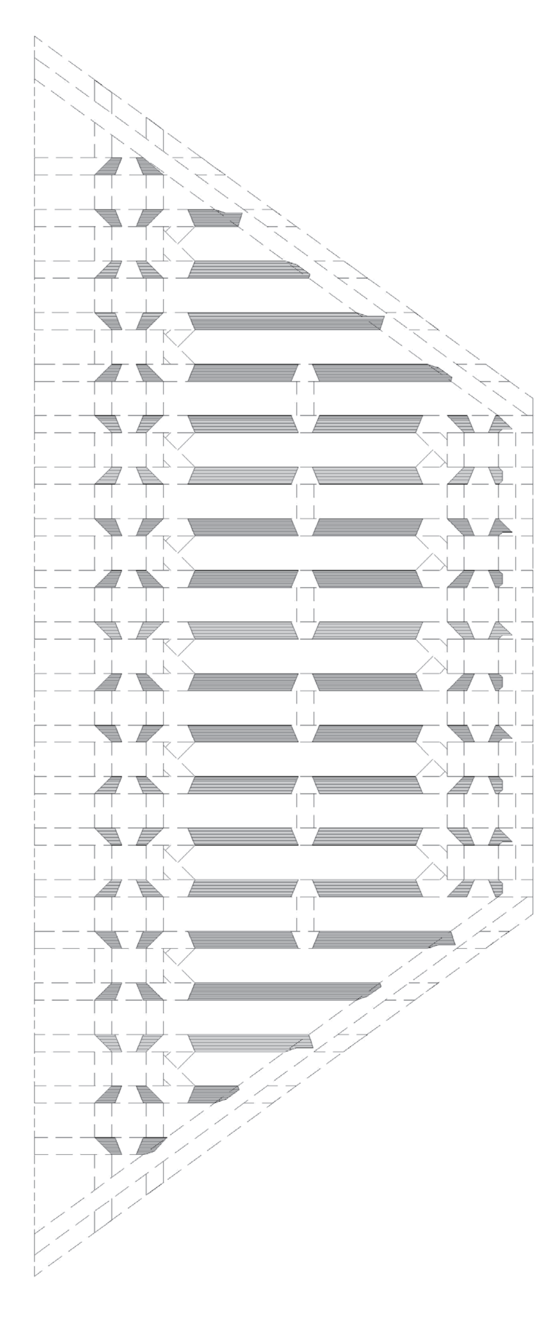


Figura 5
Levantamiento de pares y manguetas

Peinazos y arrocabas

La figura representa el corte efectuado en peinazos y arrocabas para realizar el trazado geométrico definitivo, inserto en la estructura general del paño.Llama la atención la ausencia una de las arrocabas de forma alternativa en todas las calles de limas, siendo estas sustituidas por taujeles como queda reflejado en la figura correspondiente.

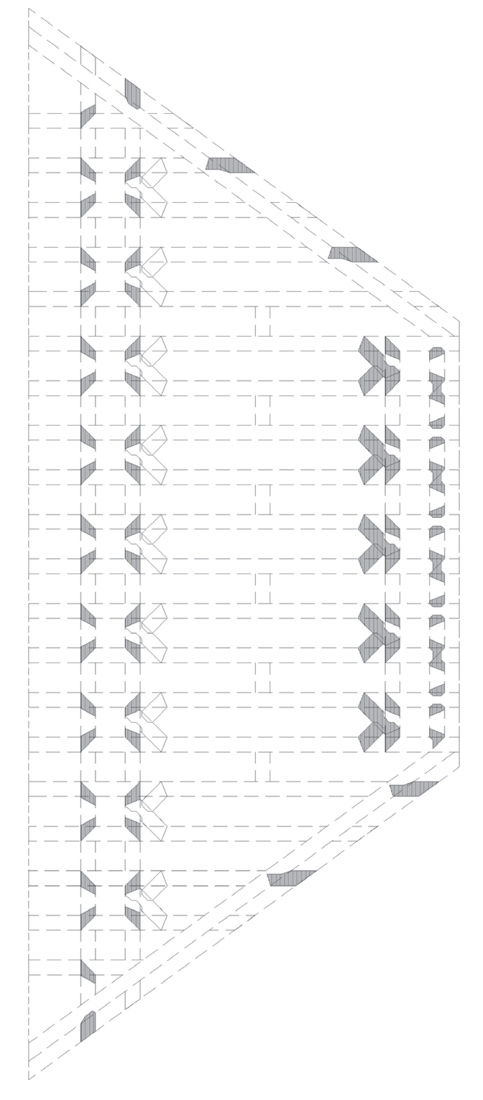


Figura 6
Levantamiento de peinazos y arrocabas en paños inclinados

Limas

La figura representa el corte efectuado en las limas para realizar el trazado geométrico definitivo, inserto en la estructura general del paño.

Se han señalado los puntos en los que se manifiestan irregularidades. Se trata de una serie de rebajes en el plano de la lima en los que se insertan taujeles que ocultan las discontinuidades creadas por su aparición, y que no coinciden con el trazado inicial.

Taujeles

Los taujeles son los elementos de la armadura que terminan de configurar su trazado y, junto con las tablas de relleno y las de fondo, determinan la decoración en este tipo de techumbres.

Al tratarse de tablas clavadas a la estructura, éstos son los que asumen los encajes del conjunto de elementos en el encuentro con la lima o límite entre los distintos planos inclinados. Es por esto, que aparecen

Figura 7
Levantamiento de limas en paños inclinados

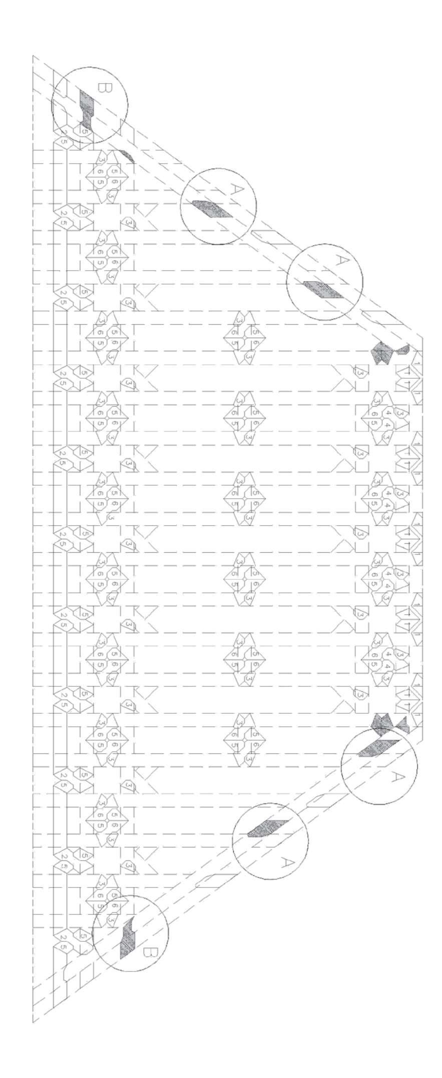


Figura 8
Levantamiento de taujeles en los paños inclinados

piezas cuyos cortes no obedecen al patrón establecido (en zonas superior e inferior los elementos marcados en rojo).Sin embargo, y fuera de todo pronóstico, nuestra armadura presenta una serie de irregularidades que deben ser destacadas.

En primer lugar, la aparición, tal y como se indicó en referencia a las arrocabas, de taujeles clavados sobre maderas en el lugar de los elementos completos, y coincidiendo en estos puntos (se trata de las zonas marcadas con la letra A), otros tantos taujeles que completan los rebajes efectuados en las limas que no se corresponden con el trazado decorativo final, que ya hemos comentado.

Así mismo hemos localizado con la letra B, los taujeles trazados para resolver la zona más conflictiva en la resolución del trazado decorativo. Se eliminan las arrocabas introduciendo taujeles que se adaptan al trazado definitivo. Debemos señalar también que esta «irregularidad» coincide con la alternancia antes apuntada.

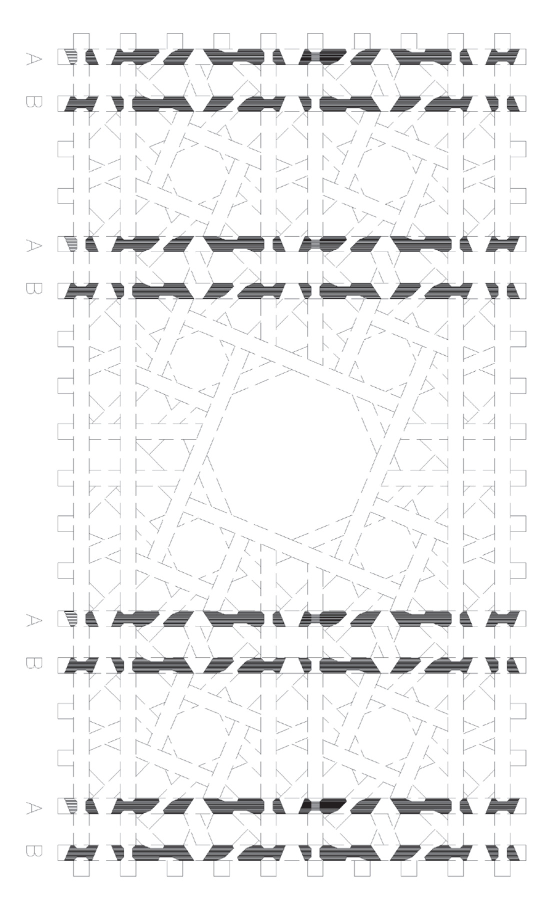


Figura 9
Nudillos con indicación de cortes para trazado decorativo

El almizate

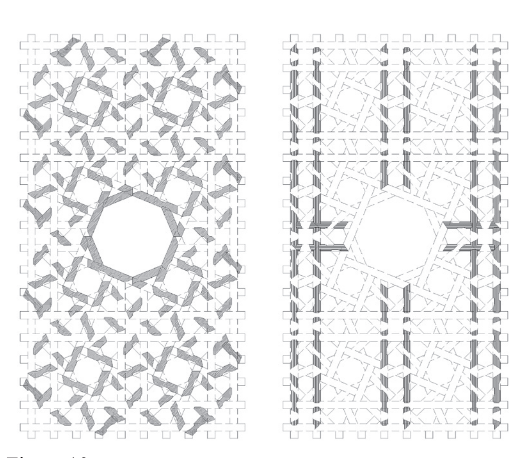
La parte central del almizate de la armadura de la Sala de Audiencias coincide con la del Retrete del Rey ya que los anchos de ambas estancias están muy cercanos y los laterales repiten la misma modulación.

Los nudillos

En la figura quedan identificados los nudillos en el almizate, con indicación de los cortes realizados para la realización del trazado decorativo.

Los peinazos

Se diferencian dos órdenes de peinazos, el primero que muestra los que denominamos peinazos ortogonales, y que también podríamos haber incluido en la categoría de nudillos cortos, y el segundo que hace referencia a los peinazos oblicuos.


Figura 10
Peinazos ortogonales y oblicuos con indicación de cortes para trazado decorativo

Hemos señalado una serie de peinazos situados cerca del quiebro de los faldones, lugar en el que nuevamente se detecta la utilización de piezas singulares. Habitualmente éste es lugar en el que se coloca una pareja de taujeles enfrentados.

Taujeles

En los dibujos que se adjuntan queda indicada exactamente la situación de cada uno de estos elementos en el almizate.

Destacar, que se advierte en los mismos puntos en los que aparecían peinazos singulares la utilización de una pieza tipo 1 de forma sistemática.

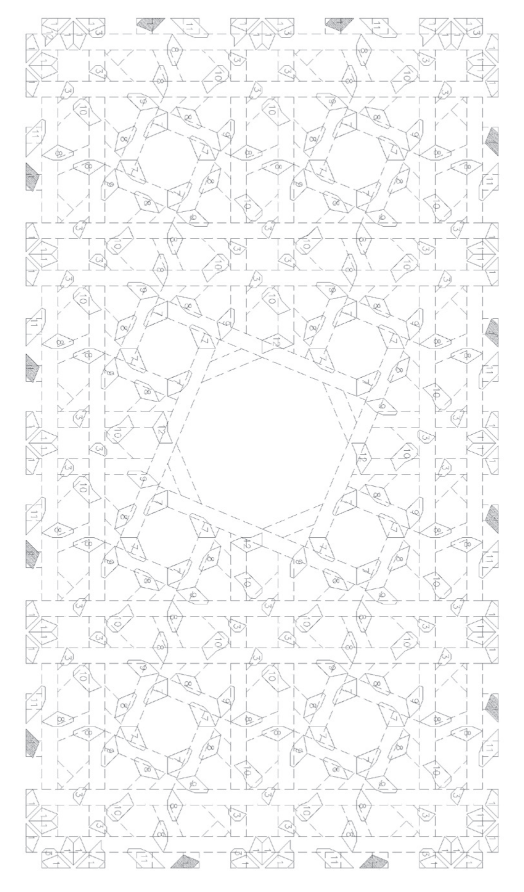


Figura 11
Levantamiento de taujeles insertos en la estructura del almizate

Piezas de relleno

A continuación, se indican las piezas de relleno de paños inclinados utilizadas para ocultar la parte de la estructura no decorativa.

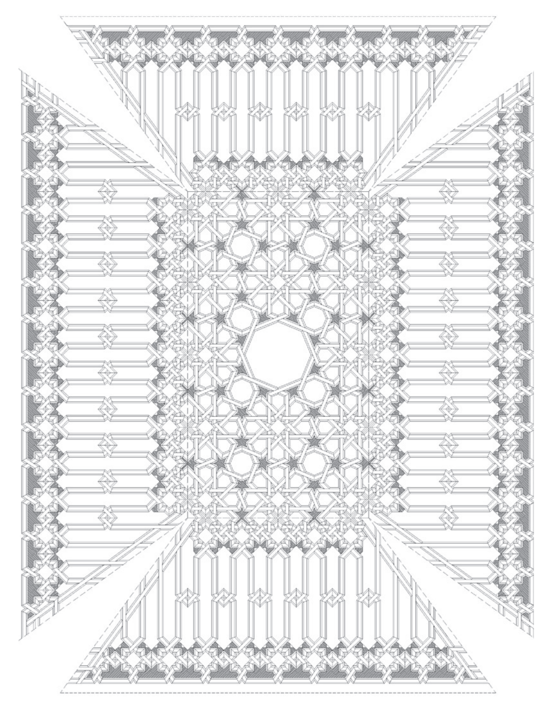


Figura 12
Levantamiento de taujeles insertos en la estructura del almizate

Notas

1 Gestoso y Pérez, José. 1984.*Sevilla monumental y artística*. Tomo I. 2ª Edición. Ed Guadalquivir.

Lista de referencias

Almagro, Antonio. 2015. La planta alta del palacio de Pedro I en el Real Alcázar de Sevilla. *Anuario del Departamento de Historia y Teoría del Arte*. V. 27, 69-115.

AA.RR. Caja 837. *Expediente sobre la construcción de un techo artesonado en el Salón Árabe del piso principal del Pala*cio.

Cañas, Cecilia. 2010.*El palacio de Don Pedro I y sus armaduras de cubiertas. Una mirada hacia lo más alto*. Universidad de Sevilla-Fundación FocusAbengoa.

Chávez, Mª del Rosario. 2004.*El Alcázar de Sevilla en el siglo XIX*. Ed. Patronato del Real Alcázar.

Gestoso y Pérez, José. 1984.*Sevilla monumental y artística*. Tomo I. 2ª Edición. Ed Guadalquivir.

Marín, Ana María. 2006.*El Real Alcázar de Sevilla bajo los Borbones*. Ed. Guadalquivir.

Mérida Álvarez, Mª D., 2000. Construcción y restauración del Real Alcázar de Sevilla en el período isabelino (1843-1868). En Graciani García, A et alii. *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Granada, 883-888.

Materiales y sistemas constructivos de la arquitectura maya

Mónica Cejudo Collera

La civilización maya se desarrolló a lo largo de 3,000 años, en una serie de ciudades estado que. en un marco geográfico diverso distribuido en 400 mil kilómetros cuadrados (Ramírez, 1999, 275), creó distintas soluciones constructivas. La arquitectura maya se caracterizó por el manejo del espacio abierto público ceremonial que contrasta con las dimensiones reducidas de los espacios cubiertos y privados, sobre todo aquellos de etapas iniciales. Algunos de estos recintos, reciben únicamente luz indirecta y en ocasiones tienen exiguas aberturas. Las fachadas, en contraste, se decoran profusamente y se rematan, en algunos casos, con una altísima crestería para elevar su altura y destacarse dentro del contexto. La percepción de las ciudades mayas, con templos que coronaban plataformas y que, posteriormente en su desarrollo arquitectónico logra elevar la altura por medio de cresterías, es la de una arquitectura de espacios abiertos y grandes plazas, cuya intención es la impresión exterior, pero, del análisis de los espacios interiores, se observa que los recintos interiores formaron parte del interés de sus constructores de ofrecer soluciones espaciales de distintos claros.

La arquitectura maya, se conformó por un repertorio muy acotado de sistemas constructivos, quizá por ser una cultura lítica, que no empleó herramientas metálicas. Muñoz y Vidal (Muñoz, 2004, 736-743) proponen cinco sistemas constructivos para el área maya:

1. Muros de carga y cubierta vegetal. Lo perecedero de las cubiertas, derivó en que sólo se conserven los muros, aunque hay indicios suficientes de la utilización de estas cubiertas.
2. Muros y bóvedas de aproximación. Los muros soportan bóvedas construidas por lajas alargadas y por piezas especialmente labradas, según la época y desarrollo constructivo. Este sistema presentó diversas limitaciones, como luces entre muros de 1.80 a 2.00 m.
3. Muros de carga y forjados o entrepisos. Las losas se componen de entramado de rollizos y ramas de menor tamaño, sobre la que se coloca un entortado de mortero de cal. La utilización de madera, limitó la durabilidad de este sistema.
4. Dinteles y pilares. Utilizado principalmente para desarrollar los vanos en los muros, se construían de piedra, aunque también se utilizaron maderas.
5. Encajuelado o sistema celular. Que consistió en fabricar un entramado de muros de uno a tres metros de ancho, que conformaban habitáculos que no sobrepasaban los ocho metros de trazo horizontal y de dos a cuatro metros de altura, con trazos geométricos radiales y de sección variable. Estos habitáculos se rellenaban y compactaban con mampostería y mortero de cal, que conformaban plataformas estables que se sobreponen, siendo el trazo de cada plataforma, de un diseño distinto.

De este modo, los muros como apoyos corridos, son el sistema de contenedores verticales que con la

interacción con distintos sistemas constructivos y de techado, predominó como elemento estructural en la arquitectura maya. Su función estructural es la de recibir y transmitir las cargas.

Características formales y expresivas

En los interiores de varios recintos como en Bonampak, en el estado de Chiapas, los muros se encuentran decorados con los mas bellos murales de toda Mesoamérica (Greene,1998,297).

Si se trata de la conformación de plazas, el Cuadrángulo de las Monjas en Uxmal (figura 1), se caracteriza por la disposición de los templos que forman esquinas sin que los muros se toquen, es decir, sugieren la existencia de esquinas cerradas sólo en la percepción del observador. Los intentos para aprisionar el espacio, para capturarlo, sucumbieron ante la concepción espacial exterior. La luz y las sombras son parte fundamental de la arquitectura, condición que sólo se debe a los muros. El espacio mismo de este recinto es una consecuencia de los trazos, y dimensiones de sus muros.

En la fachada del Codz Poop de Kabah, Yucatán, la repetición de mascarones del Dios Chac recuerda las fachadas barrocas de los templos de cantera, en las que el material constructivo es el mismo, aunque el lenguaje plástico se refiera a distintas religiones (figura 2). A los muros o apoyos corridos de las fachadas se le abren vanos que no sólo señalaron accesos, o definieron circulaciones, sino que determina-



Figura 1
El cuadrángulo de las Monjas, en Uxmal, Yucatán, México (Fuente: INAH, disponible en: https://lugares.inah.gob.mx/images/zonas/media/1895/_thumb1/173414-22.jpg)

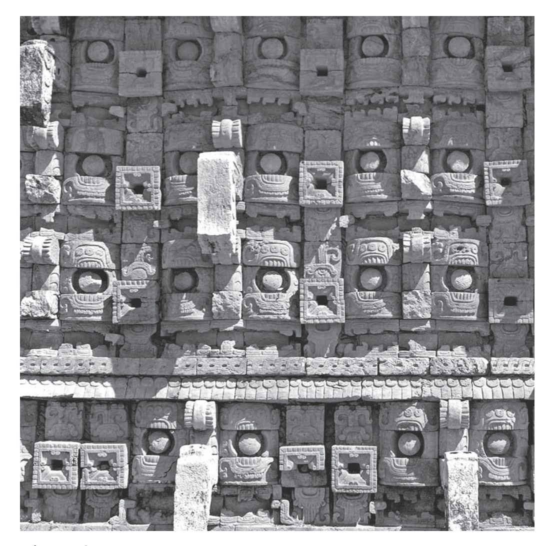


Figura 2
Fachada del Codz Poop, Kabah, Yucatán, México (Fuente: disponible en: https://www.bharad.es/wp-content/uploads/2015/05/Temple-of-the-Masks-Codz-Poop-Kabah-Yucatan-Mexico.jpg)

ron relaciones simbólicas del mayor interés, por ejemplo: la muralla de Tulum define los límites de la ciudad pero las aberturas de los lienzos permiten al observador, el ingreso del mar. Una vez más, los elementos constructivos de la arquitectura maya forman parte del juego armónico con la naturaleza. La plaza de Labná que está cruzada por un sacbeob de aproximadamente un metro de altura, que corta una plaza en dos. Igualmente, el arco de Labná, (Foto 9), es un vano enmarcado dentro de un muro que establece un vínculo entre los vanos del edificio y el exterior de la plaza. De trazo curvo, los muros paralelos del Observatorio de posición fija de Chichén Itzá en Yucatán, permiten la observación del cielo. (Cejudo,2013,46-51).

Características funcionales

Funcionalmente hablando, como ya se mencionó anteriormente los apoyos corridos, desempeñan tanto funciones estructurales, divisorias o de carga como psíquicas al abrigar, proteger y aislar, pero en algunos casos sus dimensiones aumentan para conseguir

finalidades específicas. En algunos sitios los muros son muy gruesos y robustos en relación con el interior.

En Tikal, la relación de medidas entre el claro y el muro llega a ser tan extrema que hay un caso en que el muro tiene tres metros de grosor y el claro 70 cm. En los templos I, II y IV de Tikal, el espacio interior es mínimo en comparación con el grosor del muro.

Los sacbeob fueron construidos por muros de contención dobles con los que se forman caminos. De la roca madre se desplanta un cimiento hecho a base de piedra bola de gran tamaño, se continúa con piedras más pequeñas (bakechich) pegadas unas a otras (bakpek) a manera de base para recibir el estuco final (figura 3). Los muros de contención se hacen con bloques burdamente devastados. El sacbeob más largo encontrado hasta ahora es el que une a Cobá en Quintana Roo con Yaxunah en Yucatán, de aproximadamente 100 km. Los sacbeob se utilizaron para ligar centros ceremoniales y, secundariamente, sirvieron también como diques para contener agua de lluvia. También se considera que fueron construidos para facilitar el transporte de personas y bienes, aunque también tuvieron una importante función ritual, que remarca su importancia en los centros ceremoniales ya que funcionaron como senderos sagrados por donde se transportaban imágenes de dioses y sustancias sagradas. (Ardren, 2015, 22-27).

En algunas ciudades los límites urbanos son difíciles de determinar aunque en la región del Río Bec, hay una clara excepción, la ciudad de Becán, en Campeche que estuvo rodeada por un foso así como conjuntos tanto de Uaxactún como de Tikal estuvieron separados por accidentes del terreno y otros sitios fueron circundados por murallas. En las últimas

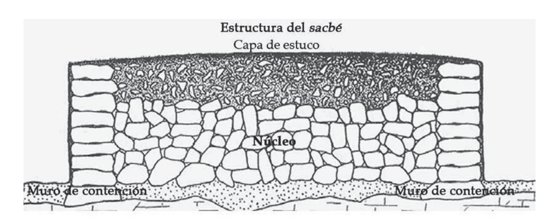


Figura 3
Corte constructivo de un sacbeob (Fuente: Arqueología Mexicana, disponible en: https://www.facebook.com/arqueomex/photos/a.350385424999742/1051337534904524/?type=1&theater)

épocas del posclásico, se construyeron muros delimitando el centro ceremonial, y, en algunos casos, toda la ciudad a manera de murallas. La inestabilidad política de las ciudades de la costa oriente de la península de Yucatán se reflejó en las murallas de carácter defensivo de ciudades mayas de Quintana Roo: Ichpaatún, Xelhá y Tulum. De ellas, es la de Tulum la que mejor se conserva perforada sólo por angostas puertas y culminada en las esquinas interiores con edificaciones que tal vez sirvieron para vigilancia.

Clasificación tipológica de los muros

De acuerdo a su diseño, su posición y sus funciones, los muros pueden ser:

1. De grandes dimensiones, como en el juego de pelota de Chichén Itzá, donde además forman plataformas.
2. De trazo escalonado, como en el Palacio de Sayil, en donde los muros se apoyan en cada piso, sobre el relleno del nivel anterior.
3. De medidas reducidas, como paramentos intermedios, o aislados, como los muros de acceso en bayoneta de Ek Balam, Yucatán.
4. De contención de los núcleos de los basamentos, como en el Castillo de Chichén Itzá, Yucatán.
5. Empotrados en los cuerpos escalonados como en la estructura B4 de Altun-Há o en la escalera jeroglífica o estructura 26, de Copán, Honduras.
6. Probablemente desplomados con la intención de dar como resultado paramentos no rectos sino cóncavos a los que se abren vanos trapezoidales, como en el templo del Dios Descendente, o Estructura 5, de Tulum, en el cual el desplome hacia afuera de los muros logró áreas sombreadas o iluminadas que destacan los relieves y le dan un aspecto característico a la fachada del conjunto.
7. Calados: como celosías diseñados para facilitar, tal vez, la ventilación cruzada, hechos de barro, como en Uaxactún, que actualmente se encuentra cubierto para su conservación. Otra celosía semejante se encuentra en Cacaxtla, Tlaxcala, localidad erigida con ostensible influencia maya.

8. De refuerzo, como los utilizados en la Estructura 1 del Grupo B y la Estructura 1 del Grupo K de Río Bec: en la Estructura 1 de Chicanná y en la Estructura 1 de Xpuhil, ciudades ambas en Campeche, que se adosaron al muro original debido a que el edificio tuvo· distintas etapas de· construcción y con el fin de contrarrestar el peso dé la torre que se añadió más tarde.
9. Divisorios: cuando las cámaras están dispuestas en recintos paralelos. En algunos casos, como en la Estructura II de Hormiguero en Campeche, el muro tiene un vano que cruza de lado a lado y sostiene los empujes verticales del edificio con una bóveda escalonada, de imposta hacia abajo. En el caso del Palacio de Palenque, en la casa A, la bóveda es trilobulada y los lóbulos están colocados transversalmente. sobre la bóveda misma, aligerando el peso de la construcción, al tiempo de decorarla.



Figura 4
Muros curvos en el observatorio de Chichén Itzá (Fuente: Proyecto CyArk, disponible en: https://cyark.org/projects/chichen-itza/in-depth)

En cuanto al desplante de las construcciones mayas, éste puede variar de una región a otra pero se puede afirmar que existen algunas constantes. Normalmente el trazo de los muros es recto y a plomo ya que encuentran ángulos rectos exactos. Para lograr la escuadra de 90°, necesariamente tuvieron que marcar los trazos en el piso para poder desplantar los muros y, por las proporciones y simetría de algunos edificios.

Asimismo, destacan los muros curvos, como los del Observatorio de Chichén Itzá (figura 4) y el Edificio Circular Q152 de Mayapán cuyos trazos y cortes de los vanos lo convierten en un observatorio calendárico astronómico excepcionalmente diseñado (Galindo, 2007, 63-81); los de sección rectangular o cuadrada, que se levantaron en Tulum, en el Castillo; y en Xlapak, en el Palacio; los de apariencia ligera de acuerdo a los estilos constructivos u ornamentales, de los que son ejemplos los del Palacio del Gobernador de Uxmal; también los hay aislados, con vanos intermedios hasta parecer pilares, como algunos en Palenque. Otros logran una ligereza constructiva única en el mundo maya, o se muestran como murallas a las que se abren puertas, como en Chicanná y, en general, en el área de Río Bec.

Los muros y toda la arquitectura maya, por los materiales que en ellos se emplearon, son parte de la evidencia que dejaron los constructores acerca de la vinculación que establecieron entre naturaleza y' tecnología: la materia prima del suelo y del sub suelo se adaptó según las circunstancias y las capacidades técnicas, de quienes trabajaron en la creación de ciudades y edificios.

El estudio de la arquitectura maya conduce, ahora, al conocimiento de una técnica constructiva, pero no sólo a eso, sino a la comprensión de un complejo sistema de composición artística con el que se ensaya un método para el trazo de estos vínculos, los muros, entre el hombre, la tierra, la naturaleza y el cielo.

Materiales y sistemas constructivos de los muros

La selección de los materiales y de los procedimientos de construcción es tan importante como solucionar el partido de composición de cuya certeza o error dependerá el buen funcionamiento del edificio. Así, los mayas, al ser conocedores empíricos de la resistencia de materiales y de la técnica: constructiva, edificaron con dos tipos de muros en general el primero, utilizado en la arquitectura doméstica que se construye con elementos perecederos a base de morillos y varas, y soporta las techumbres de material precario, y el segundo, de mampostería de piedra utilizado en la construcción de los centros ceremoniales.

La permanencia de los edificios estaba garantizada con el uso de la piedra y la evolución de la edificación en la que los primeros muros estuvieron revestidos con bloques mal recortados y burdamente pulidos, como los de Uaxactún, o los de Oxkintok; con el tiempo, se llegaron a levantar muros más ligeros y trabajados con piedras, finamente pulidas y con recubrimientos de estucos más delgados, como en Manos Rojas en la región de Río Bec y en Palenque.

Vistos de otro ángulo, los muros de lajas y de bloques burdos de la ciudad contemporánea Mayapán contrastan con los bien trabajados, chapeados y estucados del foco cultural que representa Chichén Itzá.

Los muros, elementos arquitectónicos cuyo fin es sostener las techumbres fueron fundamentalmente núcleos hechos a base de relleno de piedra sin tallar, tierra y argamasa a los que se les otorgo un revestimiento exterior definido por piedras de varios tamaños, careadas y escuadradas al exterior y, en algunos casos, con las piezas en hiladas casi del mismo tamaño y cubiertas por estucados o enlucidos, esto en los mejores casos.

Materiales

El material de construcción más abundante en la región donde se desarrollaron los mayas, fue la piedra caliza, que con su manipulación y técnica permitió elaborar materiales cementantes a base de cal, que fue la base para estucos, morteros y concretos. (Ramírez, 1999, 276). La fabricación de estos materiales fue a través del molido y quemado de rocas calizas a temperaturas no mayores a 900°C. (Ramírez, 1999, 278). Este material base se mezclaba con agregados graduados que permitía su uso en acabados (estucos en bajo relieves), en la fabricación de muros, bóvedas y otros elementos arquitectónicos, como material de liga de las mamposterías de piedra (morteros) y como refuerzo estructural en losas, entrepisos, relleno de muros, chultunes y sacbeob. El desarrollo tecnológico de los ingenieros mayas en sus procedimientos y selección de agregados logró materiales densos y resistentes que conservaron sus propiedades a pesar del intemperismo, (Ramírez, 1999, 276, 279-280).

Los materiales en general empleados para la construcción de muros pueden analizarse y agruparse de la siguiente manera:

1. El núcleo está toscamente realizado, con piedras sin cantear, recubierto de una capa de estuco, como en la estructura AV de Uaxactún.
2. Los paños están definidos por bloques bien canteados, algo pulidos y pegados con mortero fino, como en Hochob, Campeche y en las estructuras del centro ceremonial de Copán.
3. En El Palacio de Palenque, se utilizaron piedras planas labradas burdamente y luego pegadas con una capa gruesa de mortero, las superficies, sin embargo, luego fueron estucadas con una gran calidad.
4. Otros núcleos fueron chapeados con piedras finamente cortadas y, en las juntas, se ponían lajas para ajustar las diferencias entre piedra y piedra, como en la Casa de las Monjas, en Chichén-Itzá.
5. El corazón o núcleo se terminó con piedras finamente cortadas y labradas, como en el Templo de los Guerreros de Chichén Itzá, o en el Palacio del Gobernador de Uxmal.
6. Hubo asimismo muros realizados con tabiques de barro cocido, como en Comalcaco. Los muros de ese sitio fueron, hechos con ladrillos planos delgados, de forma cuadrangular y rectangular de diversas dimensiones pegados entre sí con mortero de cal, y son junto con Jonuta y otros sitios cercanos en los únicos que tenemos este material en la zona maya. Algunos de los ladrillos presentan dibujos que se trazaron previamente a su horneada, y que probablemente nos indiquen el grupo o taller que los elaboró.
7. Núcleo y exterior toscamente realizados con bloques irregulares. En estos casos no se cuidó el despiece y las hiladas fueron irregulares, como en El Castillo de Tulúm.

Sistema constructivo

En primer lugar se edificaba la plataforma, o terraplén, de piedras secas y grava re cubierta con lodo o con un delgado apisonado de cal y sascab. A continuación, se construía el muro con hiladas que chapeaban ambas caras a un mismo nivel en el exterior y en el interior y se recubrían, para terminar, con estuco, en una capa gruesa o delgada dependiendo de la calidad del chapeo. La ductibilidad de este material permitía dar la textura lisa al muro y frecuentemente

se pintaba. Atravesando los muros, se colocaban elementos horizontales de madera para tener una obra falsa o andamiaje y poder levantar tanto la parte superior de los muros como la bóveda.

Las paredes longitudinales se construían primero y posteriormente se levantaban las transversales interiores, aunque la posición de éstas ya había sido prevista. En el lugar donde la pared transversal debía topar con la longitudinal no se utilizaban piedras de revestimiento sino el núcleo mismo, que formaba la superficie de la pared y se ajustaba a la superficie de las piedras de revestimiento. (Premm, 1995, 35) Las piedras utilizadas en los muros mayas fueron labradas con martillos hechos con piedra más dura. El labrado llega a tales extremos que el aparejo de las caras expuestas de las piedras es perfectamente liso.

El aparejo generalmente era horizontal y requería una cantidad variable de cuñas para ajustar el tamaño de las piedras. La junta resultante tiene un ancho regular. No existe en el área maya una dimensión generalizada, así como tampoco las uniones entre los muros adyacentes tienen una junta determinada. En las esquinas, se rellenaban las fisuras en las coyunturas entre una hilada y otra para conservar la estabilidad. El tamaño de las piedras que se utilizó en los muros es generalmente pequeño, pero el tamaño aumenta considerablemente en algunos casos en las jambas y dinteles de los accesos. Hay también un cambio de tamaño en las piedras que marcan la moldura de desplante de la bóveda.

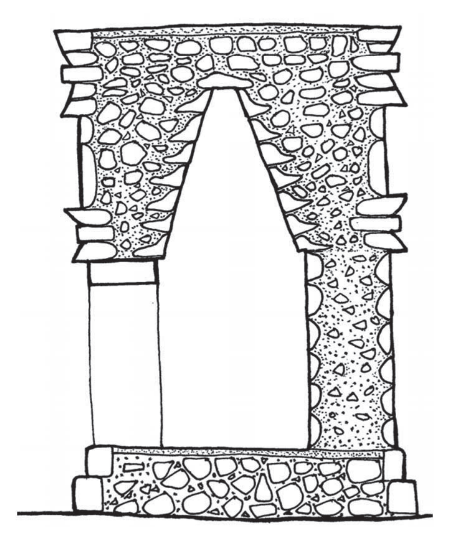


Figura 5
Corte constructivo de muros y bóvedas de estilo Puuc, según Gaspar Muñoz (Fuente: Muñoz Cosme y Vidal Lorenzo 2004)

La mampostería utilizada en los edificios mayas es diferente de acuerdo a la época y región en la que se sitúa el edificio. El aglutinante se podía hacer, tanto para el relleno como para el recubrimiento, a base de mortero de cal o de lodo. En el caso del mortero maya, éste consiste en cal apagada combinada con una, una y media y hasta cuatro partes de polvo de cal que hace las veces de arena de sílice dependiendo de la zona, ya que no se encuentra en algunas partes del área maya. En las tierras bajas, en donde existen yacimientos de piedra caliza blanda, se construyeron paramentos con bloques de caras bien cortadas en la fachada y en el interior; La dimensión de estos bloques es mayor en su profundidad que en la altura alternándose las piedras cortas con las piedras largas.

En cuanto a la calidad del acabado final, éste varia de una región a otra, debido a la variedad de piedra utilizada, predominando el estuco hecho en piedra caliza que va desde el poco adherente hasta el homogéneo, fino y texturizado. Los muros se aplanaban con estuco; en algunos casos, ese recubrimiento se convierte más bien en enlucido por una capa muy fina y después se les decoraba en algunos casos con color, convirtiéndose los muros en lienzos para pinturas o murales. La pintura mural integrada a la arquitectura se presentó en diversas zonas. Al terminarse el aplanado fino, con el muro ya seco, se aplicaban los colores hechos a base de pigmento s generalmente de origen mineral, que se pegaban con aglutinante utilizando la técnica de fresco-seco.

Los muros-mascarones del periodo clásico usados como portadas para enmarcar los accesos se construían comenzando con un núcleo de mampostería de piedras cortadas burdamente a las que se integraban por dentro las piedras careadas y por fuera elementos pétreos sobresalientes del paramento del muro, bien labrados, al exterior y debidamente encajados en la corporeidad del muro que se recubría posteriormente con una ligera capa de estuco que se detallaba y pintaba para darle el terminado al mascarón otro tipo de muros se recubrían con diversas formas de estuco, ya sea moldeado o bien recubriendo elementos salientes de piedra.

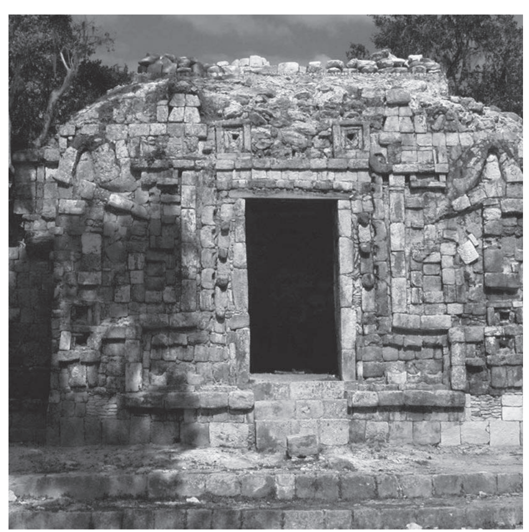


Figura 6
Mascarón en Santa Rosa Xtampak (Fuente: Secretaría de Cultura del Estado de Campeche, disponible en: https://5k1ac8m6er1akgqq40ma2gdt-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/03/secretaria-de-cultura-del-estado-1024x768.jpg)



Figura 7
Columnas en el mercado de Chichén Itzá, Yucatán, México (Fuente: disponible en: https://www.imagenesmy.com/imagenes/el-mercado-chichen-itza-cc.html)

Características regionales de los muros

La diversidad regional de los muros se debe no sólo a la forma, pues los muros van de voluminosos a pilares y hasta columnas tan esbeltas como las del Mercado de Chichén-Itzá (figura 7), sino también a los sistemas constructivos, los materiales y sobre todo a la concepción espacial de los arquitectos mayas, que debían responder a programas arquitectónicos con necesidades funcionales diversas.

En el Petén los accesos se marcan en ocasiones por pilastras de mampostería y dinteles de chicozapote o jabín y otras maderas duras que son parte de los muros y se tratan como elementos ineludibles en el diseño de las fachadas. Muchas veces se supone que la pilastra, y las columnas, en este orden, son una secuencia evolutiva, pero en realidad deben considerarse peculiaridades geográficas (Kubler, 1986,221).

En las tierras altas los materiales utilizados son más variados. En Copán, por ejemplo se utilizaron toba verdosa, piedra caliza y andesita. En Quiriguá, se utilizó riolita y mármol. En Cópan se observa un desarrollo constructivo que se inicia con muros compuestos por piedras en bruto, sin labrar, ni cantear como en las estructuras 1 y 2. Con el paso del tiempo, se construyeron los muros con piedras toscamente labradas por sus cuatro lados como en la estructura Sub 7 I. Posteriormente se levantan los muros con bloques rectangulares bien cortados como en el Juego de Pelota en las estructuras 9 y 10. Este sistema constructivo se utilizó en el Clásico medio y las construcciones posteriores se hicieron con piedras mejor labradas en una sola cara, aunque en algunas construcciones se empotraron piedras espigadas o en ángulos que fueron labradas en más de una cara. Los muros fueron enlucido s con una lechada de estuco que a menudo se pintaba. (Cheek,1983:328).

Otro tipo de mampostería es el que presentan los muros cuyo aparejo de bloques son muy regulares, están biselados y son más delgados que el anterior tipo y que funciona como cimbra para el núcleo de concreto hecho a base de piedras y cal. Tal es el caso de la región Río Bec y Chenes, aunque en la región Chenes los bloques son de mayor tamaño.

La estilización del sistema constructivo llega a sus últimas consecuencias en la región Puuc de Yucatán en donde la mampostería juega, además un papel or-



Figura 8
Bloques regulares y biselados en Hochob, Campeche, México (Fuente: INAH, disponible en: https://lugares.inah.gob.mx/es/zonas-arqueologicas/zonas/estructuras/12527-258-palacio-principal-estructura-ii.html?lugar_id=1669)



Figura 9
Detalles de labrados en el cuadrángulo de las Monjas, Uxmal, Yucatán, México (Fuente: INAH, disponible en: https://lugares.inah.gob.mx/es/zonas-arqueologicas/zonas/estructuras/7035-185-grupo-de-las-monjas.html?lugar_id=1884)

namental. Al exterior los muros del Puuc, son en la parte interior de las fachadas, paños lisos que tienen vanos de acceso formando pórticos con pilastras que en algunos casos son monolíticos o tienen fuste y un capitel, en forma de ábaco

Después del paño vertical liso, hay una o dos molduras o cornisas que señalan el inicio del friso decorado exuberantemente y se remata con una moldura o generalmente con el techo con buena inclinación que provoca el desagüe en toda la periferia o en parte de ella del que, en algunos casos, se desprende la crestería, como en los edificios del Cuadrángulo de las monjas de Uxmal. La decoración puede ser también parte del paramento inferior como en la fachada principal de la estructura 2BI de Sayil.

Los muros del Puuc, están hechos a base de piedras bien cortadas labradas biseladas que se ajustan unas con otras. Los diseños de mosaico fueron creados rompiendo cuidadosamente las delgadas capas de piedra caliza en pequeñas lajas rectangulares y piedras escuadradas que se acoplaban a patrones utilizando poco o nada de mortero entre las piezas. Las piedras se insertaban dentro del núcleo del muro de la misma manera que las piedras de revestimiento mismas que son en realidad un encofrado perdido pues esas piedras no se recuperan pues el grosor del muro se construye en una sola etapa proporcionándole así una mejor ligadura al muro aunque la tendencia fue construir el corazón y chapeado o colocarle el mosaico posteriormente al cuerpo previamente construido lo que ocasionó el defecto estructural que con el paso del tiempo hacía que se separara el revestimiento del corazón y se colapsara.

El efecto del mosaico, sin embargo, era preciso y los contraluces que originaba, así como la facilidad y rapidez de instalación fueron signos claros de un principio arquitectónico muy efectivo que permitió formas, tamaños y patrones cuya belleza y equilibrio se podían diseñar en el suelo antes de instalarlos y que ya instalados no se ven como elementos sobrepuestos sino que forma parte integral del edificio.

Las jambas se hicieron de materiales pétreos o de madera, generalmente con piedras que en algunos casos son más grandes que el resto de las piedras utilizadas en el aparejo. Esto es un rasgo característico del estilo Puuc.



Figura 10
Precisión en los cortes de las piedras en el Castillo de Chichén Itzá, Yucatán, México (Fuente: INAH, disponible en: https://lugares.inah.gob.mx/images/zonas/portadas/_thumb1/185_A_slider_chichen_itza_3.jpg)



Figura 11
Cortes irregulares de las piedras en Mayapán, Yucatán, México (Fuente: INAH, disponible en: https://lugares.inah.gob.mx/images/zonas/media/1891/_thumb1/289_A_mayapan_raices_3.jpg)

En las esquinas expuestas de los muros y de los vanos se aprecian los estándares de precisión que mantuvieron los constructores de Chichén-Itzá de la época tolteca quienes utilizaron bloques escuadrados con los ángulos rectos. Los maya-toltecas trabajaron con piedra caliza más dura, no obstante, las paredes interiores e incluso las bóvedas tienen incisiones talladas. En Mayapán, y en la costa del Caribe, el contraste en la mampostería de bloques y lajas burdos con el acabado elegantemente estucado y chapeado de Chichén Itzá es notable y sugiere el colapso del esquema social maya en el que la perfección en la construcción ya no es un rasgo determínate de la vida cotidiana.

Como cerramientos, se utilizaron dinteles de piedra o de madera ya sean, de jabín de chicozapote o bien otros tipos de madera dura. En algunos casos los dinteles se labraron como en la Estructura 5D-I y en el templo II de Tikal.

Consideraciones generales

Los muros de la arquitectura maya, quizá más que los de otras culturas prehispánicas, desempeñan el papel de límites visuales y sicológicos así como el de barreras físicas contribuyen a confirmar, pero no a separar y aseguran el apoyo y la continuidad estructural, pero no aíslan.

Por medio de los muros, se van creando espacios, que a su vez tienen una secuencia, esos recintos, ahora, invitan a un recorrido y siempre con la tendencia a buscar la emotividad, los ambientes de misterio, la magia y el enigma. La protección que ofrecen es indispensable y su abrigo es insustituible.

Los muros mayas forman la base de una arquitectura no sólo por sus edificios sino por una ejemplar relación entre ‘el medio natural y la obra constructiva. Esos elementos, cuya verticalidad contrasta y subraya la horizontalidad del paisaje, especialmente en Yucatán, cumplen la doble función de determinar algunas relaciones espaciales al tiempo que subrayan y valoran la función de la escala que siempre se establece entre el edificio y el espectador.

La técnica constructiva y los materiales mayas trascendieron y se fusionaron con la tradición constructiva española. En el desarrollo constructivo de la arquitectura militar de Nueva España, los materiales regionales, ya probados por los constructores prehis-

pánicos, fueron asimilados por los ingenieros militares. La mano indígena para el careo y corte de la piedra se heredó a los constructores virreinales.

El esplendor de la arquitectura maya surgió de la armonía entre las formas arquitectónicas y los materiales. Los muros y en general los apoyos corridos de que se sirvieron los constructores de aquella cultura han permanecido de pie como elementos estructurales de primera importancia, pero, quizá más que eso, como los organizadores plásticos de espacios y, desde luego, proporcionando a sus antiguos moradores la majestad de una arquitectura eterna.

Lista de referencias

Andrews, George. 1995. The palace at Santa Rosa Xtampak. *Cuadernos de arquitectura mesoamericana*, 29: 79-92.

Ardren, Traci. 2015. Procesiones y sacbeob de las Tierras Bajas del norte en el Clásico maya. *Arqueología Mexicana,* 132: 23-27.

Baudez, Claude-François. 2004. Chichén Itzá: la transición. En *Una historia de la religión de los antiguos mayas*. México: Centro de estudios mexicanos y centroamericanos. Online (15 febrero 2019): http://books.openedition.org/cemca/957

Carrasco, Ramón, Sylviane Boucher y Agustín Peña. 1986. Río Bec: un modelo representativo del patrón de asentamiento regional. *Boletín de la Escuela de Ciencias Antropológicas de la Universidad de Yucatán*, 78: 20-30.

Cejudo, Mónica. 2013. Algunas consideraciones sobre arquitectura maya. *Academia XXII*, 4 (6): 45-53 .

Flores Esquivel, Atasta e Ivan Sprajc. 2008. Reconocimiento arqueológico en el sur de Campeche: nuevos hallazgos y contribuciones para una visión regional. *Estudios de cultura maya,* 32: 17-38. Online (15 febrero 2019): http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-25742008000200001&lng=pt&nrm=iso.

Galindo Trejo, Jesús. 2007. Un análisis arqueo astronómico del edificio circular Q152 de Mayapán. *Estudios de cultura maya*, 29: 63-81. Online (15 marzo 2019): http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-25742007000100003&lng=es&tlng=es.

Graña Behrens, Daniel. 2004. Santa Rosa Xtampak, Campeche, y sus inscripciones. *Estudios de Cultura Maya*, 25: 33-45.

Greene, Merle. 1998. Escultura y Murales de la región del Usumacinta. En *Los Mayas*, 297-308. México: CONACULTA - INAH.

Kubler, George, 1986. *Arte y arquitectura en la América precolonial (Los pueblos mexicanos, mayas y andinos*. Madrid: Editorial Cátedra.

Muñoz Cosme, Gaspar y Cristina Vidal Lorenzo. 2004. Análisis comparativo de los diferentes sistemas constructivos en el área Maya. En *XVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, 2003, editado por J. P. Laporte, B. Arroyo, H. Escobedo y H. Mejía, 736-748. Guatemala: Ministerio de Cultura y Deportes, Instituto de Antropología e Historia : Asociación Tikal.

Pendergast, David. 1967. Altun Ha, Honduras Británica: Temporada 1964 y 1965. *Estudios de Cultura Maya*, 6: 149-169.

Premm, Hans, 1995. Consideraciones sobre la técnica constructiva de la arquitectura Puuc. *Cuadernos de arquitectura mesoamericana*, 29: 29-38.

Prentice M., Thomas y L. Janice Campbel, 2008. Excavations at Rio Bec, Group B, Structure 6N-1, Campeche, México. *Estudios de Cultura Maya*, 21: 122-148.

Quintana Samoya, Óscar, 2017. El noreste de El Petén, aportes al urbanismo prehispánica. *Estudios de Cultura Maya*, 49: 67-95.

R Coe, William, 1965. Tikal: Ten Years of Study of a Maya Ruin in the Lowlands of Guatemala. *Expedition Magazine*, 8 (1): 5-56. Online (1 enero 2019): http://www.penn.museum/sites/expedition/?p=1049.

Ramírez de Alba, Horacio, Pérez Campos, Ramiro, Díaz Coutiño, Heriberto. 1999. El cemento y el concreto de los mayas. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 6(3): 275-284. Online (15 marzo 2019): http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401608

Vargas Pacheco, Ernesto. 1984. Consideraciones generales sobre las fortificaciones militares en Tulum, Quintana Roo, México. *Estudios de Cultura Maya*, 15: 29-54.

Vargas Pacheco, Ernesto. 1987. Apuntes para el análisis del patrón de asentamiento de Tulum. En *Estudios de Cultura Maya*, 17: 55-72.

Paul Rudolph. Fundamentos tectónicos

Noelia Cervero Sánchez

En esta comunicación se analiza, bajo un planteamiento tectónico, la obra americana que el arquitecto Paul Rudolph (1918-1997) desarrolla desde el comienzo de su trayectoria en los últimos años cuarenta hasta la década de los setenta, cuando concluye su periodo de mayor experimentación constructiva.

A finales de los años cuarenta y comienzos de los cincuenta, encarnando el optimismo y la energía de la era de posguerra, Rudolph realiza un gran número de viviendas unifamiliares y pabellones de invitados en Florida. En estas primeras obras, de estructura clara y simplicidad formal, influenciadas por el funcionalismo que adapta al paisaje y al clima, consigue una ligereza y apertura máximas, al incorporar los materiales y sistemas constructivos desarrollados durante la guerra, con los que se familiariza en la Brooklyn Navy Yard.

El paso a proyectos de mayor envergadura, y en concreto la escuela secundaria Sarasota Senior High School (Sarasota, Florida, 1958-1960), marca según sus propias palabras el comienzo de una búsqueda más personal y relevante (Cook 1973, 94-95).Con la incorporación del hormigón en planos prefabricados de reducido espesor, que progresivamente va incrementando en solidez y rotundidad, profundiza en el papel central de la estructura del edificio, tanto en el control funcional de sus condiciones ambientales, como en el control de su espacio y escala, adjudicándole un papel simbólico.

Durante su etapa como director del Departamento de Arquitectura de Yale (1957-1963), Rudolph realiza sus edificios más masivos, calificados en ocasiones como brutalistas, en los que la unidad material del hormigón con acabado estriado se convierte en su firma. El edificio Art and Architecture, Yale University (New Haven, Connecticut, 1958-1963), máximo representante de esta última fase del periodo de estudio, desafía el funcionalismo y el universalismo de la arquitectura moderna y es celebrado por los críticos al mostrar una nueva materialidad y concepción del espacio.

En esta evolución, el dibujo está muy presente como primera construcción de la obra de Rudolph. Su audaz y brillante técnica de representación gráfica, le acompaña en el proceso de proyecto y en su difusión posterior, contribuyendo a cambiar el aspecto de las publicaciones de arquitectura. Se trata de dibujos en los que las sombras y la materialidad de los planos se representan mediante un trabajo a línea cuidadosamente controlado, destacando complicadas secciones y perspectivas a gran escala. Como afirma en la revista *Perspecta* (Rudolph 1986, 105), para él la sección es tan importante o más que la planta, porque tiende un puente entre tecnología y estética, que le permite desarrollar en paralelo estructura y espacio.

Con la actitud dinámica que muestran su obra y sus dibujos, Rudolph defiende un enfoque heroico de la modernidad que, partiendo del Estilo Internacional dominante, exalta la individualidad, la estética y la creatividad, con edificios en los que la estructura adquiere un papel central y simbólico como definidora del proyecto.

La ligereza de los nuevos materiales

Durante su etapa en Florida, Rudolph extiende al límite las propiedades estructurales de los materiales mientras explora sus posibilidades estéticas, su contribución a la complejidad de los espacios, y a la relación con el entorno natural y el clima (Domin 2002, 9). En alusión a Walter Gropius, que le aclara un nuevo concepto de espacio definido en términos de estructura (Rudolph 1952, 21), en su artículo "Six determinants of architectural form", publicado en la revista *Architectural Record* en 1956 (Rudolph 2009, 24), afirma: «La experimentación con materiales, desarrollando sus potencialidades más íntimas me ha entusiasmado. Cada material tiene su potencial, y uno busca la expresión más elocuente posible». Esta relación entre componentes estructurales y ordenación formal se percibe en sus obras de Sarasota, asociado desde 1948 a 1952 con Ralph Twitchell, y se expresa en dibujos que exploran investigaciones complejas sobre la invención del espacio tridimensional, la interacción de la luz y la sombra, el contraste de la masa y el vacío, la interacción de formas y texturas, y el desarrollo de patrones y geometrías. Durante esta etapa, construye viviendas unifamiliares de gran claridad constructiva y refinamiento estructural, en las que une el funcionalismo racionalista, con el que se familiariza durante su periodo de formación en Harvard (1941 y 1947) y su viaje a Europa (1948), y el pragmatismo naval, adquirido en la Brooklyn Navy Yard (1942-1946) (Spade 1971, 12).

Las iniciales estructuras de pórticos de madera, con esquemas expansivos que se apropian de la horizontalidad, incorporan materiales como el hormigón y el acero para elevarse sobre el terreno y establecer una inmediata conexión con el paisaje, como ocurre en el proyecto para la Finney Guest House (Siesta Key, Florida, 1947), que no llega a construir (figura 1). En estos proyectos es frecuente el cierre de los espacios interiores con grandes planos de vidrio montados en marcos que se anclan directamente a la estructura, creando una transparencia nueva en el espacio doméstico y manteniendo la presencia de los pórticos, ya sean de madera, como en la Zegris Residencie (Vence, Florida, 1948), o de acero, como en la Revere Quality House (Siesta Key, Florida, 1948). A este plano de delimitación se suman elementos exteriores de cierre, paneles de madera que admiten distintas posiciones para permitir tanto la apertura y la observación, como la protección y la privacidad (Domin, 2002, 51). Esta fórmula, en la que la modulación del espacio, se realiza en función de los elementos de cierre, alcanza su mayor expresión en la Walker Guest House (Sanibel Island, Florida, 1952-1953), en la que los paneles macizos exteriores pivotan sobre su lado superior, actuando en función de su posición, como muros, elementos de ventilación, voladizos o contraventanas para huracanes (Rudolph 1977, 318).

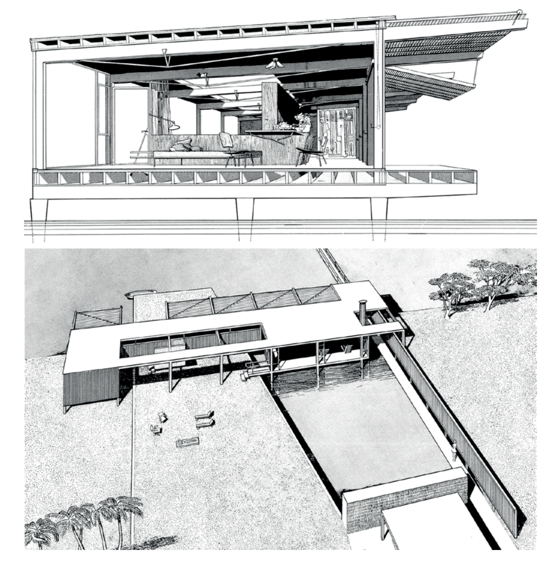


Figura 1
Finney Guest House. Siesta Key, Florida, 1947. (Library of Congress, Prints & Photographs, Paul Rudolph Archive)

El más claro ejemplo de la arquitectura de Rudolph derivada de las ideas de la tecnología naval, es la Healy Guest House (Siesta Key, Florida, 1950), en la que busca aligerar la construcción para extremar su eficiencia (Domin, 2002, p. 30). Su estructura consiste en un forjado formado por un entramado de madera elevado sobre apoyos puntuales de hormigón, con pórticos de madera en las fachadas longitudinales, unidos por una cubierta plástica catenaria suspendida, en la que el acero funciona a tensión, reduciendo al máximo el espesor (figura 2). Junto a la optimización del funcionamiento estructural, la expresividad de la forma está presente en la elección de este sistema, como se deduce del razonamiento de Rudolph (1952, 22) en la revista *Perspecta*: «el acero, cuando

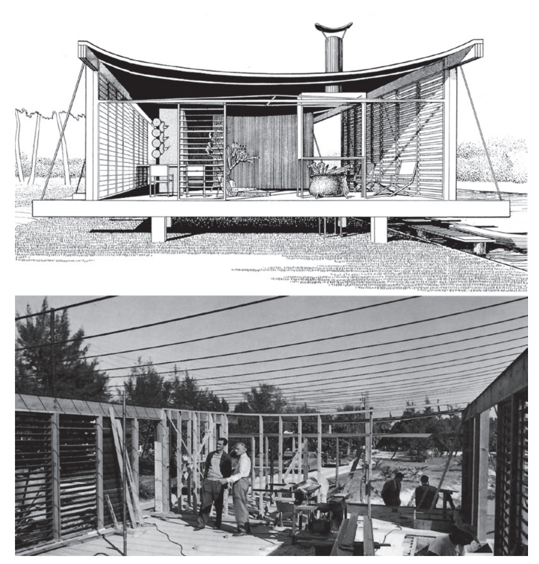


Figura 2
Healy Guest House, Siesta Key, Florida, 1950. (Library of Congress, Prints & Photographs, Paul Rudolph Archive; Domin, 2002)

se usa en tensión, es más elocuente que cuando se usa de otra manera, y los materiales laminados plegados son más elocuentes que cuando se usan planos». La construcción de esta cubierta catenaria, cinco centímetros más elevada en el centro para facilitar el drenaje, se realiza con tableros flexibles de fibra y aislamiento sobre las barras de acero, rociados en ambas caras con cocoon, un material plástico en spray desarrollado por el Gobierno de los Estados Unidos y fabricado por la Hollingshead Corporation (Kirkham y Tredway 2017, 66). La elasticidad de este material vinílico fascina a Rudolph durante su servicio en la Naval Reserve, donde se usaba para proteger la quilla de los barcos, y lo recupera al asimilar la cubierta a la lona de una tienda, estanca y flexible para moverse con los huracanes. Este símil le lleva, en el desarrollo de este tipo de cubiertas, a cambiar la sección para optimizar los espacios interiores en los proyectos de Coward Residence y Wheelan Cottages (Siesta Key, Florida, 1951).

También desde la sección, Rudolph trabaja las posibilidades de la madera contrachapada en cubiertas abovedadas que eleva sobre los espacios habitados. La fuerza, durabilidad y economía de estos tableros laminados de derivados de madera, encolados con distintas orientaciones, los lleva a ser valorados en la construcción desde los años treinta e investigados por el Gobierno durante la Segunda Guerra Mundial para mejorar su durabilidad y resistencia. (Kirkham y Tredway 2017, 62)

Conocedor de su incorporación a la obra de algunos arquitectos del momento como Ray Eames, Rudolph experimenta por primera vez con madera contrachapada en el proyecto de la Knott Residence (Yankeetown, Florida, 1951). El edificio se define espacial y formalmente por una reiteración modular de bóvedas, condicionada por el limitado tamaño de las planchas que se comban in situ y por su anclaje a una estructura separada e independiente, compuesta por elementos de estribo contra las acometidas exteriores, que se eleva sobre el cerramiento interior (Rudolph 1971, 12) (figura 3). Esta ambiciosa organización estructural, además de determinar la percepción interior y exterior del edificio, permite el acondicionamiento de los espacios a la luz y el clima y la máxima flexibilidad de las particiones interiores. La aplicación del sistema llega con la Hook Guest House (Siesta Key, Florida, 1952-1953), donde prueba la rigidez de varios espesores de tablero e idea un sistema para anclar dos hojas estándar de menos de un centímetro de espesor, que se adaptan a las dimensiones exactas de cada bóveda y suponen un coste de la cubierta inferior a una plana equivalente (figura 3). Utiliza un bastidor de vigas y postes reforzados de madera para elevar el espacio habitable principal sobre el paisaje y absorber el empuje producido por las bóvedas. En él se dispone el cerramiento, formado por paneles revestidos, acristalamientos fijos o celosías practicables, en función del programa interior. El carácter modular de la construcción, expresado al exterior con la articulación del plano del techo, supone un hallazgo que recuperará en proyectos posteriores de vivienda colectiva. También lo hace en su primer proyecto no residencial, el Sanderling Beach Club (Siesta Key, Florida, 1952-53), donde mejora el sistema constructivo al eliminar la necesidad de tirantes o refuerzos. Lo consigue al reducir el empuje de las bóvedas, mediante la aplicación a las hojas de un radio más corto del necesario mientras que el pegamento se asienta, para que se expandan ligeramente al tomar su forma final (Domin, 2002,125-127).

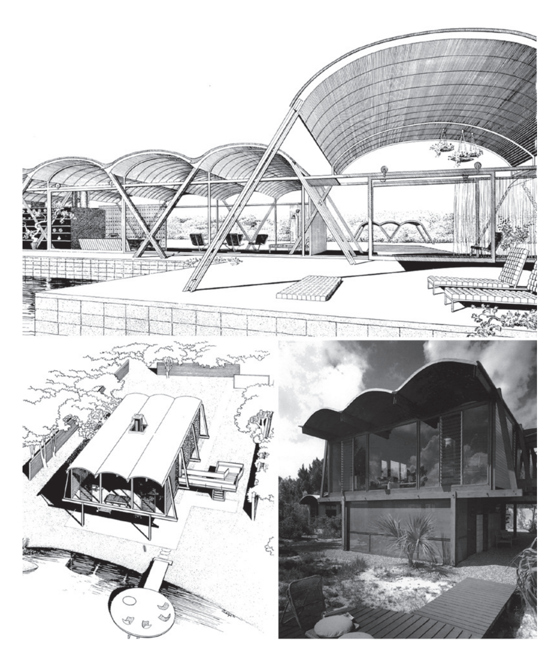


Figura 3
Knott Residence, Yankeetown, Florida, 1951; Hook Guest House, Siesta Key, Florida, 1952-1953. (Library of Congress, Prints & Photographs, Paul Rudolph Archive; Domin, 2002)

Este aligeramiento de los sistemas estructurales, mediante el uso de nuevos materiales y la optimización de su comportamiento, aporta durante esta primera etapa proyectos de gran sinceridad constructiva, en los que Rudolph muestra distintas formas de pensar los espacios desde el potencial de sus componentes.

Primera experimentación con hormigón

Entre los años 1955 y 1960, Rudolph lleva a cabo obras de mayor escala en las que desarrolla una exploración de distintos sistemas constructivos, como celosías prefabricadas para favorecer la adaptación al entorno y al clima en el Jewett Arts. Center (Wellesley, Massachusetts, 1955-1958), manteniendo en ocasiones una vinculación con el Estilo Internacional presente en sus anteriores proyectos, como ocurre con las estructuras ligeras y fachadas transparentes y articuladas del Riverview High School (Sarasota, Florida, 1957-1958). Este proyecto actúa como transición para que los elementos lineales que estructuraban sus primeros proyectos de vivienda, evolucionen más allá de su función principal y "salten" la escala (Rudolph 1977, 318), condicionando su percepción en relación a los espacios. Esta consideración de la estructura como elemento funcional y formalmente integrador, que no estaba presente en el diseño residencial, le lleva a investigar las posibilidades inherentes al hormigón en una serie de proyectos en los que adquiere un papel central.

La estructura del Sarasota Senior High School (Sarasota, Florida, 1958-1960),formada por losas y pantallas de hormigón blanco liso que se fabrican in situ, Rudolph aporta un equilibrio entre la presencia urbana del edificio y el control de la articulación, configuración y condiciones de los espacios interiores. El sistema tridimensional de planos plegados con cualidades escultóricas que compone la fachada principal, fragmenta el extenso volumen, adecuando su escala a un entorno elevado y abierto con construcciones aisladas. Las cuidadas proporciones de la fachada vienen determinadas por la organización modular de sólidos planos de hormigón que actúan como parasoles fijos (figura 4).Estos protectores solares marcan un ritmo visual, suspendidos de vigas dobles a ambos lados de cada aula, que se apoyan sobre pantallas de hormigón y soportan la losa de la cubierta (Monk 1999, 34-37).La contención de grandes extensiones de espacio dentro de un marco estructural que conecta el interior con el ambiente circundante, se abre en la entrada, para mostrar la profundidad total del edificio. Esta gran puerta se destaca en el frente del juego de luces y sombras, en el que la estructura vista contrasta con la sombra de los huecos y de la reducida separación del suelo en planta baja, contribuyendo a la percepción de la materialidad del hormigón e incorporándolo como elemento de diseño visual del edificio (Bruegmann 1986, 33).

La integración entre los sistemas estructurales y los medios de acondicionamiento del ambiente interior forma asimismo parte de la estrategia de proyecto. La adecuación de la luz y la temperatura a las necesidades de cada uno de los espacios, aprovechando las condiciones del clima, se concibe desde la sección (figura 4). Hacia el exterior, los parasoles mantienen protegidas las ventanas de las aulas, tamizando el intenso sol de Florida. En el interior, la cubierta se eleva sobre los espacios de circulación, conecta-

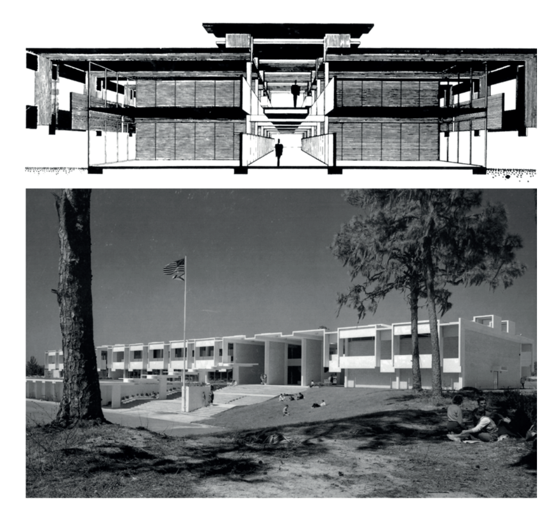


Figura 4
Sarasota Senior High School, Sarasota, Florida, 1958-1960. (Domin, 2002)

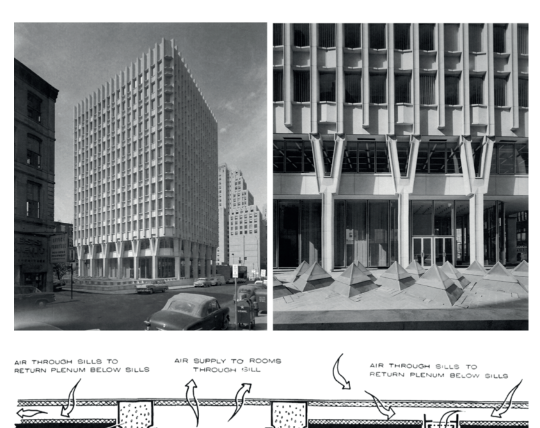




Figura 5
Blue Cross and Blue Shield Insurance Building, Boston, Massachusetts, 1957-1960 (Rohan, 2014)

dos en los dos niveles del edificio, para generar aperturas laterales que aportan una cuidada iluminación y ventilación natural. La corriente del aire se intensifica gracias a la continuidad de estos espacios con las aulas, mediante huecos longitudinales bajo los forjados, lo que hace innecesarios medios mecánicos de acondicionamiento térmico (Domin 2002, 235).Bajo la cubierta, las vigas se duplican no solo para satisfacer las necesidades de espacio, escala y luz, sino también para alojar instalaciones. Separadas aproximadamente 1,20 m y con cierre en la parte inferior, forman un espacio integral para sistemas de distribución, y refuerzan visualmente la presencia de la estructura (Spade 1971, 13).

La simbiosis entre medios estructurales y mecánicos está también presente en el edificio de oficinas Blue Cross and Blue Sial Insurance Building (Boston, Massachusetts, 1957-1960).Se trata de un edificio en altura de planta cuadrada con estructura de hormigón prefabricado, en el que las losas de forjado se apoyan en cuatro pilares centrales, que forman un corazón compacto, y en un entramado perimetral que recorre la fachada y se apoya en su base en columnas con capiteles en forma de Y para reducir el número de apoyos, como ya había hecho en el Jewett Center (figura 5). Este armazón delimita por el plano exterior a los forjados las dos plantas de base y las diez plantas superiores, modulando los huecos verticales que quedan rehundidos, y la corona opaca del piso trece, que alberga unidades mecánicas. La profundidad de la fachada se consigue al revestir los elementos portantes verticales con paneles prefabricados de hormigón que albergan la distribución de la calefacción y refrigeración (figura 5).La doble función del entramado contribuye a la integración del edificio en el entorno al magnificar su presencia y añadir un acabado de agregado de cuarzo blanco, cuya sólida textura resulta similar a los acabados de los edificios cercanos de albañilería. Rudolph convierte con ello la función en estética reforzando la apariencia escultórica de la fachada y convirtiendo la estructura en un símbolo o una representación de sí misma.

El Yale University's Greeley Memorial Laboratory (New Haven, Connecticut, 1957-1959), un pabellón de vidrio en planta baja con cubierta plana situado sobre un podio en una colina, es otro ejemplo en el que Rudolph extiende el concepto simbólico de la es-

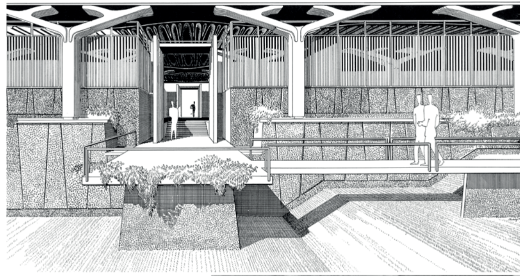




Figura 6
Yale University's Greeley Memorial Laboratory, New Haven, Connecticut, 1957-1959 (Rudolph, 1981; Rohan, 2014)

tructura. Sus apoyos toman la forma de monumentales columnas de hormigón prefabricado con función de carga y sofisticado carácter (figura 6). A pesar de las líneas ornamentales de gran sinuosidad que rematan sus capiteles forma de Y, el hormigón es todavía concebido como un material exacto, no muy diferente del acero, cuya fabricación requiere el mismo control y precisión (Legault 2017, 78). Los forjados son surcados por vigas de patrón ondulado que expresan la naturaleza y dirección de los esfuerzos, más anchos en el centro del vano, y alojan en sus cavidades la instalación eléctrica, con lo que integran en un doble sentido función y decoración (figura 6). El podio se cubre con paneles prefabricados, anticipando la estética más monumental y pesada por la que Rudolph sería conocido en los años sesenta.

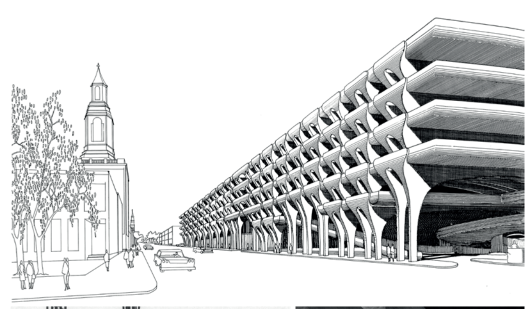
Los patrones y formas sinuosas son, según Rudolph, más que meros ejercicios superficiales, expresión de las propiedades estructurales y materiales del edificio (Rohan 2014, 62-67). Su aparición representa el tránsito de una representación directa de la estructura, típica de sus años en Florida, a una arquitectura que da un gran valor al simbolismo, la estética y la representación, recuperando el concepto de racionalismo estructural a sus orígenes en el siglo XIX y comenzando una exploración de la expresividad de la forma.

La expresividad de la forma

A comienzos de los años sesenta, el hormigón prefabricado demuestra no ser suficientemente elocuente para Rudolph, que se dirige al hormigón in situ como la expresión más apropiada del material. Deja las delicadas formas de proyectos anteriores para adentrarse en otras más audaces, expresivas y monumentales. Este nuevo enfoque coincide con un viaje a Japón y a Chandigarh en la India, donde visita obras de Kenzo Tange y de Le Corbusier, ejemplos del potencial expresivo de las formas plásticas hechas con hormigón texturado. Lo hace en un momento en el que también otros arquitectos como Eero Saarinen, Marcel Breuer y Ieoh Ming Pei explotaban en Estados Unidos las posibilidades plásticas ofrecidas por el material.

El primer uso significativo del hormigón in situ se produce en Temple Estrete Garaje (New Haven, Connecticut, 1959-1963), un proyecto que representa el nuevo sentimiento del arquitecto hacia la expresión del hormigón en formas continuas y monolíticas. Rudolph concibe el aparcamiento como un edificio que exterioriza su función, mediante la expresión del movimiento y la exaltación del automóvil. Su intención de que el potencial simbólico se traslade a la realidad constructiva refleja en una conversación con John Cook (1973, 118): «Hay ciertas características formales en cada proyecto en el que trabajo. Es lo intuitivo del trabajo. Nunca diría que es puro funcionalismo. No tiene sentido decir que la arquitectura se basa en la ingeniería o el programa. También es un arte». La longitudinalidad de la intervención encierra una estrategia de diseño urbano, al actuar como puente conector entre dos áreas separadas por un nuevo viario y como puerta monumental sobre el mismo (figura 7).

Los cuatro niveles de aparcamiento se elevan en bandejas de hormigón que se pliegan en todo el frente alternando tramos largos y cortos, soportadas con dobles apoyos regularmente espaciados. Esta duplicación de apoyos, separados por juntas de expansión abiertas, se lee desde la distancia como un solo elemento en la horizontalidad de las bandejas, y desde una visión más cercana, como una prolon-



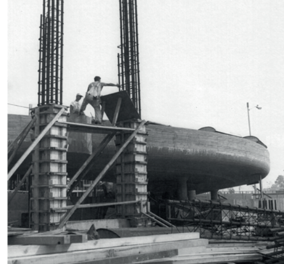




Figura 7
Temple Street Garage, New Haven, Connecticut, 1959-1963 (Rudolph, 1981; Rohan, 2014)

gación de los distintos estratos verticales (figura 7). Aunque formalmente podrían asimilarse a arcos tallados en el hormigón monolítico, funcionan como pórticos que se refuerzan en las luces de mayores dimensiones (Rohan 2014, 67-75). En consonancia con este carácter simbólico de la estructura, y como signo del esfuerzo con el que se levantan y moldean los planos, Rudolph busca un acabado unitario con una textura adicional. Hace por ello palpables las estrías dejadas por los encofrados de madera, que se exageran con gran rugosidad como parte integral del diseño. No valora estas marcas por añadir autenticidad al revelar el proceso de construcción, como sucede por ejemplo en la obra de Kahn, sino por constituir un ornamento que hace más expresivas las formas estructurales. Su calidad y exagerada plasticidad, acentuada por los juegos de luces y sombras, permite que este continuum espacial suponga, al recorrerlo, una experiencia espacial y visual (Rudolph 1971, 18).

El garaje es una declaración de la conversión de Rudolph a las virtudes del hormigón bruto y rugoso, pero es en el edificio Art and Architecture, Yale University (New Haven, Connecticut, 1958-1963) donde muestra su fascinación por la textura superficial del material. El proyecto del edificio es precedido por la cuidadosa consideración de su emplazamiento urbano y de su condición monumental. Años antes, en el artículo «Six determinants of architectural form» de 1956 Rudolph (2009, 24) declara: «Debemos aprender un nuevo significado de la monumentalidad […] La monumentalidad, el simbolismo, la decoración, etc., como las viejas necesidades humanas, se encuentran entre los desafíos arquitectónicos que la teoría moderna ha dejado de lado». La estructura se compone de bandejas horizontales de hormigón colocadas en esvástica o molinete entre un sistema geométrico de pantallas verticales que, con los núcleos de servicio, escaleras y elevadores proporcionan énfasis en las esquinas (figura 8). La concatenación espacial y fluidez moderna se conjugan en esta forma dinámica que establece conexiones históricas con el pasado y estimula reacciones emocionales (Spade 1971, 16). Como material único, desdibujando la distinción entre interior y exterior, el hormigón con superficie estriada y acanaladuras abujardadas verticales, cuyo origen se ha relacionado en numerosas ocasiones con el proceso de dibujo de Rudolph. Su atención casi obsesiva a la línea y el detalle, especialmente en relación con la representación de la superficie del material, da lugar a esta estética que fusiona dibujo y construcción (Rudolph 1981). «Algunos materiales son más fáciles de representar que otros. Esto probablemente explica en parte mi interés en superficies de hormigón altamente texturadas. La técnica de tratar las superficies con línea para crear luz y sombra, sugiere una cierta linealidad en la textura que a veces influye en la elección de los materiales».

La elaboración de la superficie estriada es fruto de un proceso de dos pasos, moldeado y martilleado. El moldeado del hormigón, caracterizado por su tono amarillento cálido y dorado, se realiza mediante encofrados de madera laminada con estrías triangulares clavadas en un patrón vertical. Tras el desencofrado, es martilleado a mano para exponer sus agregantes, mezcla de piedras, micas, conchas e incluso ramas de coral (figura 8). El trabajo en serie se ve alterado con la producción artesanal in situ para introducir incidentes intencionados que muestran la verdad interna del material y aumentan su expresión (Legault 2017, 81-89). Con este acabado, repetido en toda la superficie del edificio, se establece una relación visual entre el motivo y el espacio arquitectónico, que reduce

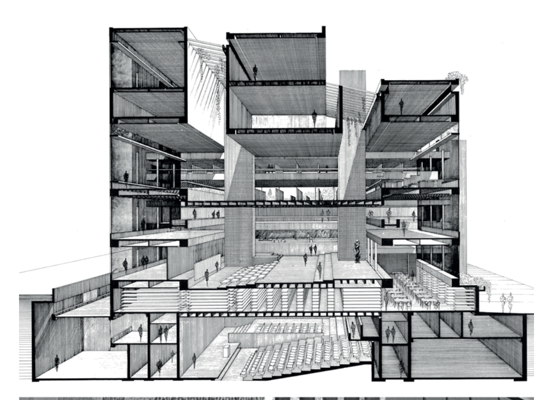




Figura 8
Art and Architecture, Yale University, New Haven, Connecticut, 1958-1963 (Library of Congress, Prints & Photographs; Rohan, 2014)

la escala y suaviza el impacto de la imponente masa de hormigón. Además, por su fragmentación y diversidad, la textura atrapa la luz de diferentes maneras, produciendo sensaciones cambiantes y efectos complejos de sombras y reflejos que en ocasiones acentúan su solidez y profundidad y en otras sugieren su desmaterialización (Rudolph 1977, 318). La intención de Rudolph, lejos de mostrar la expresión franca de la estructura y los materiales, es crear un relieve elevado que funciona como ornamento en la superficie misma de la construcción.

A pesar de su ferviente creencia en la modernidad, Rudolph responde a la omisión de decoración en la arquitectura contemporánea con esta textura ornamental que puede entenderse como parte de su esfuerzo por «construir decoración», como lo denomina en su artículo «Toenrichour Architecture» (Rudolph 1958, 11), contribuyendo a incrementar el valor simbólico de la estructura.

Conclusiones

La contribución de Paul Rudolph a la historia de la construcción se debe a su intensa experimentación con las particularidades y usos de la técnica y los materiales, hasta desarrollar sus potencialidades más íntimas. Lo que le distingue de sus contemporáneos, es su actitud inconformista hacia la arquitectura que le lleva a observar el Estilo Internacional, y emprender un camino individual y creativo, en el que explora la complejidad espacial de la obra y la relación con su entorno.

La modernidad estadounidense en la década de 1950 favorece el uso de nuevos materiales desarrollados durante la Segunda Guerra Mundial. El aligeramiento extremo de los sistemas estructurales y la optimización de su comportamiento, son explorados por Rudolph desde la expresividad de la forma, como demuestra en las cubiertas de sus casas de Florida.

El salto a proyectos públicos de mayores dimensiones en 1955, favorece la evolución de una representación directa de la estructura a una arquitectura que da gran valor al simbolismo y la estética. El uso de hormigón prefabricado, favorece el trabajo con patrones y formas sinuosas que concibe desde la expresión de las propiedades materiales del edificio.

En los años de Yale, en torno a 1960, Rudolph parte de la percepción ambiental de los espacios, para dirigirse al hormigón in situ como la expresión más elocuente del material, con ideas a menudo rechazadas como meramente megalómanas. Su búsqueda de expresión mediante la relación entre forma y espacio, le lleva a tratar la superficie del hormigón con una textura unitaria y ornamental que contribuye a exaltar el valor simbólico de la estructura y se convierte en signo de su identidad.

Paul Rudolph combate la conformidad con expresión, aplicando un vocabulario propio de formas audaces, a menudo simbólicas, y superficies esculpidas. Desde el dibujo, modula el proyecto con un desarrollo continuo de su representación gráfica, que busca respuestas personales a los problemas arquitectónicos y propios de los sistemas constructivos que en cada momento maneja. El punto común a todos ellos responde a su concepción de la arquitectura como un «asunto altamente emocional», y por tanto capaz de deleitar visualmente, como afirma en la revista *Perspecta* en 1986 (Rudolph 1986, 106). A través de la materia, el diseño visual del espacio, como

producto del acto creativo, es su principal determinante del proyecto.

Lista de referencias

Bruegmann, Robert. 2003. The architect as urbanist. En *Paul Rudolph. The Late Work*, Roberto de Alba, 5-43. New York: Princeton Architectural Press.

Cook, John W. y Klotz, Heinrich. 1973. *Conversations with architects*. New York: Prague Publishers.

Domin, Christopher.2002. *Paul Rudolph: The Florida houses*. New York: Princeton.

Kirkham, Pat y Tredway, Tom. 2017. Paul Rudolph and “New Materials”: From playwood to plexiglas and more. En *Reassessing Rudolph*, editado por Timothy M. Rohan, 60-75. New Haven: Yale University Press, 2017.

Legault, Réjean. 2017. Paul Rudolph and the shifting semantics of exposed concrete. En *Reassessing Rudolph*, editado por Timothy M. Rohan, 60-75. New Haven: Yale University Press, 2017.

Monk, Tony. 1999. *The Art and Architecture of Paul Rudolph*. Chichester, West Sussex: Wiley-Academy.

Rohan, Timothy M. 2014. *The Architecture of Paul Rudolph*. Cambridge: Yale University Press.

Rudolph, Paul. 1952. Three new directions. *Perspecta MIT Press*, 1: 18-25.

Rudolph, Paul. 1958. To enrich our Architecture.*Journal of Architectural Education*, 13, 1 (primavera): 1-14.

Rudolph, Paul y Moholy-Nagy, Sibyl. 1971. *La arquitectura de Paul Rudolph*. Barcelona: Gustavo Gili.

Rudolph, Paul. 1977. Paul Rudolph: 100 works 1946-74. *A+U Architecture and Urbanism*, 80, julio.

Rudolph, Paul. 1981. *Paul Rudolph: Dessins d’architecture, Architekturzeichnungen, Architectural Drawings*. New York: Architectural Book Publishing Company.

Rudolph, Paul. 1986. Excerpt from a conversation. *Perspecta MIT Press*, 22: 102-107.

Rudolph Paul. 2009. *Writings on Architecture*. New Haven: Yale University Press.

Spade, Rupert. 1971. *Paul Rudolph*. London: Thames and Hudson.

El tardogótico gerundense: emergiendo del olvido

Miquel Àngel Chamorro
Ramon Ripoll
Jordi Soler

En las comarcas gerundenses encontramos un número elevado de iglesias construidas a partir del siglo XVI siguiendo el estilo gótico. La mayoría de estos templos tienen el calificativo de parroquiales desde el siglo XIV tal y como aparece en el nomenclátor de la diócesis gerundense publicado por Pons iGurí en el año 2002. Se trata de iglesias que se distribuyen a lo largo de toda la geografía gerundense.

En el mapa adjunto (figura 1) aparecen localizadas todas las iglesias construidas en estilo gótico a partir del siglo XVI que desde este momento las designaremos como tardogóticas. Hemos localizado 54 templos tardogóticos, la mayoría parroquiales, que seconcentran esencialmente en las comarcas del Alt y Baix Empordà, donde el porcentaje alcanza el 56,9 %. Entre los edificios más destacados, dejando de banda los dos ejemplos que corresponden a la ciudad de Girona: Santa Susana del Mercadal y San Félix de Girona (básicamente su campanario), tenemos las iglesias de San Esteban de Bordils (Girones), San Martín de Cassà de la Selva (Girones), San Cucufate de Fornells de la Selva (Girones), San Martín de Palafrugell (Baix Empordà), San Isidoro de la Pera (Baix Empordà), entre otras.

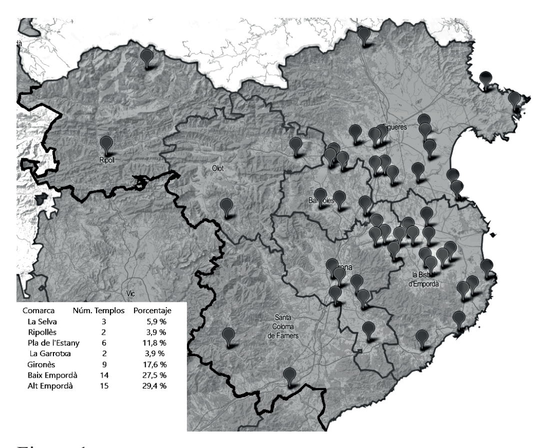
En este trabajo dejaremos de banda los templos de la ciudad de Girona, las iglesias que pertenecen a ordenes monásticas y aquellas iglesias derruidas por una u otra causa. Esta decisión se ha tomado ya que creemos que el edifico no deja de ser un documento histórico más y es fundamental que se conserve para poder interpretar de forma precisa como fue construido.

Tipologías: plantas, alzados y secciones

Las plantas de las iglesias tardogóticas de las comarcas gerundenses siguen siempre una misma tipología. Se trata de templos de nave única y capillas laterales entre contrafuertes (figura 2). La utilización de esta tipología, habitual en el levante peninsular, puede ser atribuida a requerimientos de tipo estructural, sin dejar de lado, evidentemente, las necesidades litúrgicas.

Podemos reseguir la magnitud de estos templos a través de referencias documentales como son las fuentes documentales de la época que se encuentran en los archivos y los levantamientos de planos. Gracias a las fuentes documentales conservadas en los archivos sabemos que la nave central de la iglesia de San Martín de Palafrugell mide 9,66 metros de anchura y tiene una altura de 14,90 metros. A través de los planos consultados en el Servicio de Monumentos de la Diputación de Girona sabemos que la nave central de la iglesia de San Esteban de Bordils tiene 9 metros de anchura mientras que la nave principal de la modesta iglesia de San Esteban de Vilaür tiene 5,30 metros de ancho.

La forma de la planta de estos templos condiciona la aparición de un ábside alineado con la nave central. Éste adopta dos formas claramente diferenciadas: ábside semicircular y ábside poligonal. La utilización de una tipología u otra no responde a directrices específicas. Una hipótesis que nos explicaría la utilización de uno u otro tipo podría ser su facilidad constructiva. Es más fácil generar, e incluso



Comarca	Núm. Templos	Porcentaje
La Selva	3	5,9 %
Ripollès	2	3,9 %
Pla de l'Estany	6	11,8 %
La Garrotxa	2	3,9 %
Gironès	9	17,6 %
Baix Empordà	14	27,5 %
Alt Empordà	15	29,4 %

Figura 1
Mapa del Instituto Cartográfico de Catalunya donde hemos grafiado la ubicación de las iglesias tardogóticas (M.A. Chamorro)

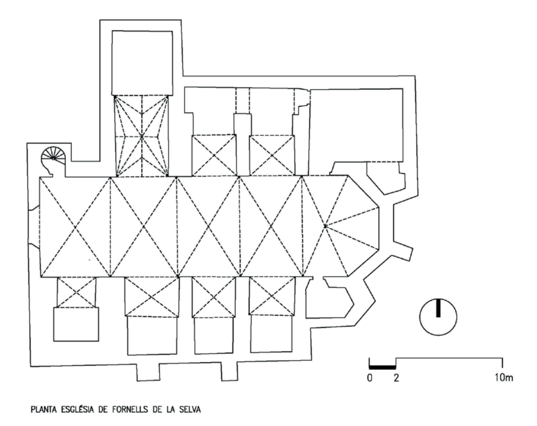


Figura 2
Planta de la iglesia de San Cucufate de Fornells de la Selva (R. Ripoll)

cubrir, un ábside poligonal que un ábside semicircular por lo que tenemos más ejemplos del primero que del segundo en las iglesias analizadas en este estudio.

Un ejemplo que se aleja de la tipología de planta habitual en los templos tardogóticos gerundenses es el de la iglesia de San Esteban de Peratallada (figura 3) y la de San Pedro de Púbol donde se añaden durante el siglo XVI y XVII capillas laterales al edificio románico de dos naves y al edificio gótico de una nave respectivamente.



Figura 3
Interior de la iglesia de San Esteban de Peratallada con las capillas laterales añadidas en la parte derecha de la fotografía (M.A. Chamorro)

Las capillas de estos templos, al estar situadas entre contrafuertes, tienen planta cuadrada o rectangular. Habitualmente estas capillas tienen poca profundidad si exceptuamos algunos casos como las capillas dedicadas a la Virgen del Roser —muchas de ellas barrocas— o alguna capilla ubicada bajo el campanario como la de la iglesia de San Isidoro de La Pera (figura 4).

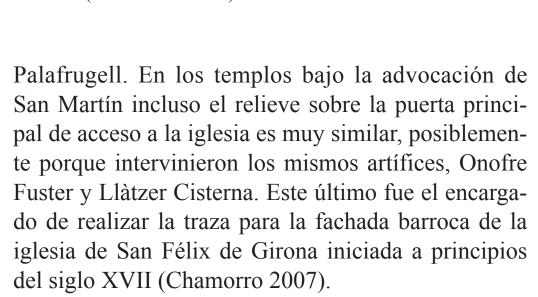
En las fachadas de estos edificios, al ser el elemento construido en último término, aparecen detalles renacentistas y barrocos. La configuración de estas fachadas se repite en varias iglesias apareciendo una puerta renacentista, un óculo o rosetón gótico, una galería con balaustradas sobre ella y un campanario en uno de los lados. Ejemplos de esta tipología los encontramos en las iglesias de San Martín de Cassà de la Selva (figura 5), San Esteban de Bordils, San Martivell, San Isidoro de la Pera y San Martín de



Figura 4
Capilla bajo el campanario de la iglesia de San Isidoro de La Pera (M.A. Chamorro)



Figura 5
Fachada principal de la iglesia de San Martín de Cassà de la Selva (N. Chamorro)



Palafrugell. En los templos bajo la advocación de San Martín incluso el relieve sobre la puerta principal de acceso a la iglesia es muy similar, posiblemente porque intervinieron los mismos artífices, Onofre Fuster y Llàtzer Cisterna. Este último fue el encargado de realizar la traza para la fachada barroca de la iglesia de San Félix de Girona iniciada a principios del siglo XVII (Chamorro 2007).

Otro elemento significativo que aparece en algunas de estas fachadas, cuya lectura no ha sido del todo acertada en algunos casos, es el conjuratorio. Se trata de un elemento que se asemeja a una garita (elemento propio de una fortificación) coronada por una cruz que tiene la función de avisar a los campesinos de las tormentas de granizo. Desde él se realizaban plegarias los días de la Santa Cruz, 3 de mayo y 14 de septiembre, para espantar las tormentas de granizo. Este elemento se incorpora durante el siglo XVI como un elemento más de la fachada y sustituye a un pequeño altar, normalmente situado bajo un porche, donde se colocaba una cruz. El de la fachada de la iglesia de San Cucufate de Fornells de la Selva (figura 6) se puede atribuir a Pere Boris (1578), maestro de origen francés, y a Pere LLoquet, ya que son los encargados de ejecutar esta fachada. Pere Boris era un artífice de reconocido prestigio documentado en el año 1571 trabajando en el campanario de la iglesia de San Félix de Girona (Chamorro y Llorens 1993). Su forma ha hecho que algunos estudiosos le atribuyeran, de forma errónea, funciones defensivas.

En las fachadas laterales encontramos los contrafuertes vistos, en las iglesias más importantes, ya que la nave central tiene más altura que las capillas adosadas en los laterales. Cuando se trata de templos más modestos los contrafuertes quedan embebidos ya que la nave central y las capillas adosadas se encuentran a la misma altura. La iluminación de estos edificios mejora al adoptarse la primera solución



Figura 6
Fachada de la iglesia de San Cucufate de Fornells de la Selva (R. Ripoll)

como es el caso de la iglesia de San Isidoro de La Pera (figura 7) o la de San Martín de Palafrugell ya que se pueden situar ventanales en la nave principal y en las capillas adosadas.

En algunas de estas iglesias aparecen elementos fortificados como almenas, aspilleras y matacanes. Estos elementos los encontramos tanto en las iglesias situadas cerca de la costa como en las iglesias situadas en el interior de las comarcas gerundenses. En la zona costera se producían constantes incursiones berberiscas mientras que en el interior el peligro venia del otro lado de los Pirineos. Como ejemplos podemos citar las iglesias de San Félix de Boada, San Esteban de Montras y San Pedro de Palau-sator.

Como hemos comentado anteriormente estas iglesias disponían de un campanario en uno delos laterales de la fachada. No encontramos ningún templo con dos campanarios completamente acabados, seguramente se debe a cuestiones de índole económica. El campanario de referencia para estas iglesias es el construido en el templo de San Félix de Girona, iniciado en el siglo XIV por el prestigioso maestro de obras Pere Sacoma (o Pere de Coma), y finalizado en el siglo XVI (seguramente el 1572) con la intervención de los maestros de obra Joan de Belljoch (1532), Enric Gelabert (1540) y Pere Boris (1571). Los campanarios de las iglesias de San Martivell (figura 8), San Martin de Cassà de la Selva, la parroquial de Aiguaviva, San Esteban de Bordils y San Isidoro de La Pera siguen el mismo patrón. Estos arrancan en planta cuadrada y a la altura de la cubierta de la nave central pasan a planta octogonal (el de



Figura 7
Fachada lateral de la iglesia de San Isidoro de La Pera (M.A. Chamorro)



Figura 8
Campanario de la iglesia de San Martivell (F. Llorens)

San Félix es de planta octogonal desde la base). Algunos no acaban con la aguja sino que acaban con una terraza plana como el de La Pera y Bordils. Este último fue acabado en el año 1697 tal y como aparece en las balaustradas de la cubierta por Joan Pages (figura 9), maestro de Sant Flor d'Auvernia que trabajo junto a Joan Prexat, aunque Grau y Puig (1989) afirman que se acabó en el año 1680.

También encontramos algunos casos en que el campanario de la iglesia no llego a acabar-se y aparece truncado. Los ejemplos más relevantes son los de la iglesia de San Martín de Palafrugell y el de la iglesia de San Genís de Torroella de Montgrí (figura 10) donde se levantó el campanario hasta el nivel de las campanas. Este hecho no resulta extraño ya que junto a las dificultades económicas antes citadas tenemos que añadir acontecimientos como la Guerra de los Segadores, la gran carestía de trigo del año 1651 o la peste de 1652 que se producen en el periodo en que se erigen estos campanarios. Además tenemos que añadir la incursión de piratas berberiscos, como el pirata turco Barbaroja, que el año 1543 ataca Palamos destruyendo sus templos más emblemáticos. Recordemos que estos templos se erigieron a través de la aportación de limosnas y pequeñas rentas recaudadas por la parroquia. En el caso de la iglesia de San Martín de Palafrugell los ingresos provenían de los bacines, de la limosna de Pere Barceló y del tributo del pez (Pérez 2007; Marquès 1999).



Figura 10
Campanario inacabado de la iglesia de San Genís de Torroella de Montgrí (S. Crussis)



Figura 9
Balaustrada de la iglesia de San Esteban de Bordils (F. Llorens)

Sistemas constructivos

Joan Badia i Homs (1977-1981) y Josep Puig i Cadafalch (1983) realizaron un estudio pormenorizado de las iglesias medievales del Alt y Baix Empordà el primero y de toda la provincia de Cataluña el segundo. Su estudio se centró en el análisis de los paramentos para datar estos edificios.Como no podría ser de otra forma, ante el trabajo de autores emblemáticos, nuestro estudio será más modesto y daremos por validas, como no podía ser de otra forma, las aportaciones de estos autores añadiendo pequeñas matizaciones.

Como todos sabemos, el elemento por excelencia que define el gótico es la bóveda de crucería. La tipología habitual de la bóveda en los templos tardogóticos gerundenses es sobre planta cuadrada o rectangular y por tanto conformada por cuatro nervios y la clave en el punto de intersección. Este tipo de bóvedas las encontramos tanto en la nave central como en las laterales. En el ábside esta tipología cambia ligeramente ya que el número de nervios depende de su forma. Aparecen tantos nervios como



Figura 11
Capilla lateral de la iglesia de San Vicente de Rupia (M.A. Chamorro)



Figura 12
Capilla del Roser de la iglesia de San Martín de Cassà de la Selva (M.A. Chamorro)

vértices tiene la forma que delimita el ábside que queda enmarcado por un arco toral, normalmente ojival. En algunas iglesias la solución del ábside se traslada a las capillas laterales al adoptar estas formas diferentes a las cuadradas o rectangulares. Un ejemplo curioso es el de la capilla de la iglesia de San Vicente de Rupia de planta pentagonal con siete nervios, donde el séptimo nervio se apoya sobre el arco formero (figura 11).

En casos muy puntuales, hemos encontrado una evolución de la bóveda de crucería, la bóveda de crucería con terceletes. Esta adopta una forma estrellada con arcos secundarios o terciarios que forman ángulo con los arcos diagonales. En el punto de unión de los diferentes nervios, aparece una nueva clave de bóveda, normalmente de dimensiones menores a la de la clave central. Esta solución fue adoptada de forma habitual en las iglesias tardogóticas de la península ibérica para enriquecer ornamentalmente el espacio. Los dos ejemplos que encontramos en la provincia de Girona corresponden a las iglesias de San Martín de Cassà de la Selva y San Cucufate de Fornells de la Selva (figura 12 y 13). Ambos templos tienen una tipología de planta idéntica con una nave central dividida en cuatro crujías y el mismo número de capillas laterales. La iglesia de Cassà de la Selva sirve de patrón para la de Fornells excepto en la nave, donde la pequeña sirve de modelo a la grande (Marquès 1996). La semejanza de ambas iglesias la podemos atribuir a sus artífices. Las bóvedas de las naves centrales de estos dos templos fueron realizadas por Joan Berni y Pere Busquets, la primera en el año 1598 y la segunda en el año 1611 (Bosch 1991).

Hemos detectado una solución singular que solo aparece en la iglesia de San Félix de Girona y en la iglesia de San Genís de Torroella de Montgrí. Se trata de un nervio que sigue, horizontalmente, desde la primera crujía hasta el arco toral del ábside (figura 14). Este nervio divide la bóveda en seis partes y



Figura 13
Capilla del Roser de la iglesia de San Cucufate de Fornells de la Selva (R. Ripoll)

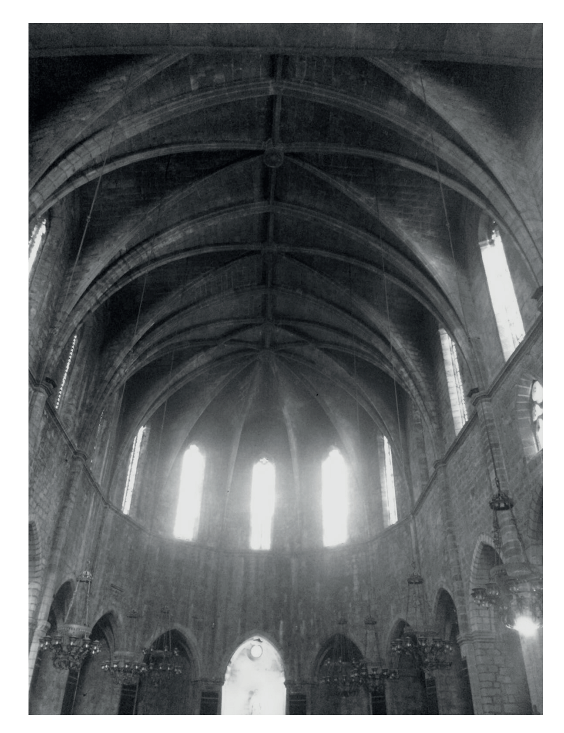


Figura 14
Nave central iglesia de San Genís de Torroella de Montgrí (J. Ferrer)



Figura 15
Estructura cubierta iglesia de San Genís de Monells (M.A. Chamorro)

transforma así la bóveda cuadripartita típica de las iglesias de nuestra provincia. La utilización de esta solución no la podemos atribuir a causas concretas de tipo estructural u ornamental.

Al encontrarse estas iglesias en una zona geográfica donde la actividad sísmica es elevada adoptan formas diferentes a las del gótico centroeuropeo. Este extremo ja lo apuntaba Casinello (2003) en su tesis doctoral y se ha reafirmado a raíz de estudios de otros investigadores centrados en la zona del levante peninsular. En estas iglesias se utiliza una reelaboración del sistema de arcos diafragma que encontramos en monasterios como Santes Creus y Poblet. Esta solución permite absorber de forma eficiente los esfuerzos horizontales provocados por las sacudidas sísmicas. En este caso el arco toral sustituye al arco diafragma, que se ve reforzado por el muro que separa las capillas laterales y el contrafuerte, mientras que en la otra dirección tenemos la estructura reforzada por el arco formero y la pared que limita las capilla. Se forma una estructura de sucesivas superficies cuadradas o rectangulares que mejoran la estabilidad del edificio y al mismo tiempo facilitan la construcción de cada crujía de forma independiente.

Los tejados de estos edificios son a dos vertientes y acabados con teja árabe. La solución más utilizada consiste en levantar pilares de piedra siguiendo la línea central formada por las claves de bóveda y apoyar unas vigas de madera para formar la cumbrera del tejado. Sobre estas vigas se apoyaran otras vigas de madera siguiendo la pendiente de la cubierta y sobre estas se colocaran unaslatas de madera y las tejas curvas. Una solución alternativa es la que encontramos en las iglesias de San Genís de Monells (figura 15) y San Pedro de Púbol donde la pendiente de la cubierta se forma a partir de arcos, similares a los arcos diafragma, siguiendo la dirección de los arcos torales. Entre estos arcos se colocan las vigas de madera, las latas y las tejas.

Los sistemas constructivos que hacen referencia a los campanarios tardogóticos han sido estudiados de forma exhaustiva por lo que solo citaremos dos de los más destacados (Chamorro y Llorens 1993). En primer lugar la utilización de los muros de tres hojas, de origen romano, formados por la exterior y la interior de sillares con el núcleo de argamasa. Y en segundo lugar, la utilización en algunos casos de las grapas metálicas para unir los pasamanos de las barandas y las piezas que forman los pináculos.

Conclusiones

Las iglesias que hemos visto en este trabajo no habían estado catalogadas como tardogóticas en trabajos precedentes. Estas siguen la misma tipología con una nave única, capillas laterales y ábside, mayoritariamente, poligonal. Estas similitudes también se repiten en las fachadas y en los campanarios.

Destacar las dificultades económicas para la construcción de estas iglesias debido a la inestabilidad en el norte de Cataluña en el siglo XVI y XVII. Además, no todo el dinero recaudado se destinaba a la construcción del templo sino que parte de este servía para adquirir elementos básicos como mobiliario o enseres litúrgicos. Esto explica la larga duración de los trabajos de construcción y la superposición de estilos arquitectónicos. Para realizar el seguimiento de estos son fundamentales las visitas pastorales que informan del estado del templo en fechas concretas.

Finalmente resaltar que aunque muchas de las iglesias tardogóticas gerundenses son modestas encontramos trabajando en ellas a artífices de reconocido prestigio, no solo originarios, de las comarcas gerundenses y limítrofes, sino también foráneos procedentes de más allá de los Pirineos.

Lista de referencias

Badia i Homs, J. 1977-1981. *L'Arquitectura medieval de l'Empordà*. Girona: Diputació de Girona.

Badia i Homs, J. 2009-2010. L'esglesia parroquial de Sant-Genís de Torroella de Montgri. *Revista del Baix Empordà*, 27: 13-18.

Bosch, J. 1991. *L'església de Sant Martí de Cassà de la Selva*. Cassa de la Selva: Editora cassanenca (Col.lecció-SantFeliu, 9).

Casinello, Mª. J. 2003. *Trazado y Estabilidad de la Arquitectura Gótica*.Tesis doctoral de los Estudios de Arquitectura en la Universidad Politécnica de Madrid.

Chamorro, M. À.; Llorenç, F. 1993. *Elscampanarsgòtics a les comarques gironines*. Girona: Diputació de Girona, Col.legi Oficial d'Aparelladors i ArquitectesTècnics de Girona i Universitat de Girona.

Chamorro, M. À. 2007. La construcción de la fachada de la iglesia de San Félix de Girona. *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción (Burgos 7-9 Junio 2007)*, editado por M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno, S. Huerta, 237-242. Madrid: Instituto Juan de Herrera, SEHC, CEHOPU.

Domènech, G. 2001. *Oficis i arts de la construcció a Girona, 1419-1833: mestres de cases, picapedrers, fusters i escultors: la ConfrariadelsSantsQuatreMàrtirs*. Girona: Ajuntament de Girona,Institutd'EstudisGironins,Patronat Francesc Eiximenis.

Grau, J. M.; Puig, R. 1989. El campanar de la Pera: una obra del segle XVII. *Estudis del Baix Empord*à, 8: 128-138.

Marquès, J. M. 1996. Esglesies del Baix Empordà. *Estudis del Baix Empord*à, 15: 35-68.

Marquès, J. M. 1998. La parroquia de Púbol. *Estudis del Baix Empord*à, 17: 91-106.

Marquès, J. M. 1999. Construcció de les Esglésies de Palafrugell i Mont-Ras (1588ss). *Estudis del Baix Empord*à, 8: 55-64.

Pérez, A. 2007. L'artreligiòs a Palafrugell. *Col.leccióQuaderns de Palafrugell*, 16: 19-81.

Pons, J. M. 1964.Nomenclatores de la diócesis gerundense en el siglo XIV. *Annals de l'Institutd'EstudisGironins*, 17: 5-78.

Puig i Cadafalch, J.; de Falguera, A. y Goday i Casals, J. 1983. *Puig i Cadafalch, Josep, 1867-1956. L'Arquitecturaromànica a Catalunya.* 2ª ed. Barcelona: Institutd'EstudisCatalans.

Victor, S. 2004. *La Construcció i elsseusoficis a la Girona del segle XV*. Girona: Ajuntament de Girona.

Abbaziale carolingia o cripta romanica? Il dubbio cronologico della chiesa del Santissimo Salvatore al Monte Amiata indagato attraverso l'individuazione delle sue fasi costruttive

Renzo Chiovelli
Giulia Maria Palma
Vania Rocchi

La chiesa abbaziale del Santissimo Salvatore sul Monte Amiata, facente parte dell'importante abbazia fondata nel 762 da nobili dignitari longobardi e resa ancora più prestigiosa dai re Franchi e dagli imperatori del sacro Romano Impero, fino a diventare una delle più rilevanti abbazie imperiali del centro Italia, nonostante sia stata oggetto di analisi architettoniche da parte di vari studiosi, resta ancora oggi, soprattutto per le strutture della sua cripta, un complicato rebus architettonico. I documenti del suo ricco archivio, attestano due momenti di massima attività e produttività del monastero, individuabili nella prima metà del IX e nel primo quarto dell'XI secolo. Proprio a questi due periodi, i principali studiosi che ne hanno studiato l'architettura, attribuiscono, in contrasto fra loro, le originarie parti della splendida cripta (figura 2). Si tratta di una delle prime cripte, di ampie dimensioni, edificate nell'Occidente medievale secondo la tipologia a sala o *ad oratorium*, dato che l'abbaziale risulta consacrata nel 1035. Secondo lo studioso tedesco Franz Much la chiesa d'epoca carolingia andrebbe rintracciata nei muri perimetrali dell'odierna cripta e solo nell'XI secolo sarebbe stata trasformata in cripta a sala della rinnovata chiesa. Ipotesi contestata da Luca Giubbolini che, invece, riconduce l'intera chiesa attuale alla consacrazione del 1035, fornita dell'ampia cripta a sala che si insinua con tre campate nella navata unica, fornendo un'ampia superficie al presbiterio soprastante per poter ospitare il grande numero di monaci che a quel tempo vi dimorava. Il presente studio, oltre a confrontare la tipologia della cripta di Abbadia con strutture simili di gran parte del centro Italia, ne ha analizzato minuziosamente, con schedature e graficizzazioni, le tecniche costruttive murarie, mediante analisi mensiocronologiche, lettura delle murature, riconoscimento delle continuità e discontinuità delle strutture, fino ad arrivare a formulare una nuova ed originale individuazione delle fasi costruttive di questa complessa struttura architettonica.[1]

Vicende del complesso abbaziale dalla fondazione longobarda alla sua soppressione

Il primo documento che attesta l'esistenza di un centro religioso sul monte Amiata è datato al 762: fa parte del fondo di Santa Maria a Sesto al Reghena nel Friuli; i fratelli Erfo, Anto e Marco, dignitari della nobiltà friulana, lasciarono i possedimenti nella loro terra di origine per recarsi in Toscana e fondarvi nuovi monasteri su commissione statale.[2] Solo attraverso un diploma regio datato al 770 possiamo riconoscere nel monastero appena citato la fondazione dedicata al Salvatore sul monte Amiata e si viene a conoscenza della morte di Erfone e della sua sepoltura all'interno della chiesa della quale aveva gettato le fondamenta.

Nel documento del 762 la fondazione amiatina non viene citata, probabilmente perché ancora in fase di costruzione e non ancora ufficialmente consacrata; tale evidenza permette di porre la consacrazione

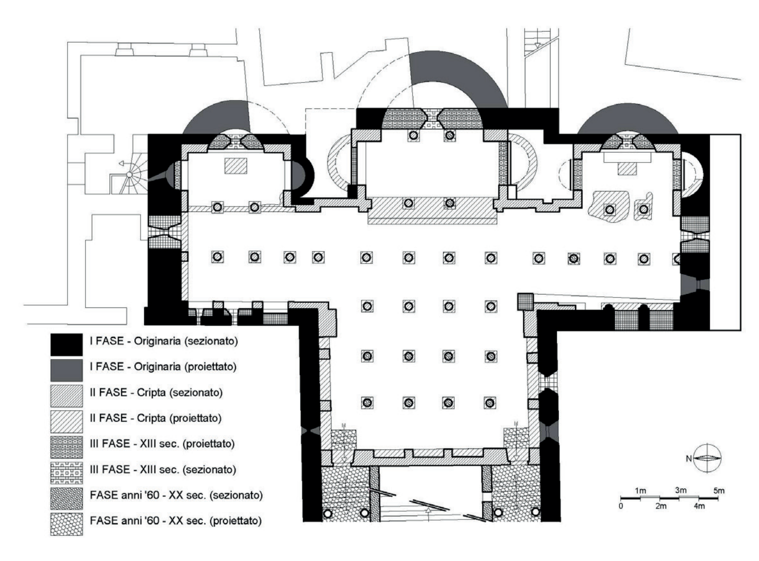


Figura 1
Abbadia San Salvatore; cripta dell'abbaziale del Santissimo Salvatore al Monte Amiata, con indicate le fasi costruttive

dell'edifico e la fine della prima fase dei lavori nell'intervallo di tempo che intercorre tra il primo e il secondo documento ritrovati, perciò verosimilmente tra il 762 e il 770. Il re Adelchi, prima del 774, scrisse un diploma per assicurare all'abbazia l'esistenza per gli anni successivi: i re Franchi continuarono a rinnovare e a tener fede al diploma del Re longobardo redigendo ulteriori documenti per prolungarne l'efficacia.

Non vi è, fino all'anno 1000, documentazione narrativa o semplicemente cronistica legata al complesso, vi è solamente un fiorire di fonti commerciali riguardanti proprietà terriere ed arredi: attraverso un'attenta analisi del quantitativo di documenti redatti nei vari secoli si sono potuti registrare due momenti di massima attività e produttività del monastero stesso; i periodi sono individuabili nella prima metà del IX secolo e nel primo quarto dell'XI secolo. Le fasi di fervore economico sono dovute principalmente alle donazioni effettuate in favore del monastero stesso e con tutta probabilità queste ingenti offerte hanno permesso all'abate Winizo di riedificare la chiesa, consacrata il 13 novembre del 1035, alla presenza di Poppone, patriarca di Aquileia, il quale in una lettera esprime perplessità in merito alla data dell'evento, considerato il clima rigido del monte Amiata; alla data della consacrazione l'edificio non era assolutamente ultimato: mancavano all'appello parte del corpo longitudinale e l'intero corpo trasversale.

Nel corso del X secolo, gli Ottoni, consigliati dall'influente Ugo di Tuscia, hanno modificato l'assetto dei territori toscani e quindi le aree poste sotto la giurisdizione dell'abbazia amiatina, alterando gli equilibri esistenti e il controllo delle principali arterie stradali che collegavano Siena a Roma.

Dall'inizio dell'XI secolo, per volere di Enrico II, molti dei possedimenti dell'abbazia del Salvatore vennero ritirati e il monastero venne affidato a San Romualdo per introdurvi la riforma moralizzatrice per contrastare la decadenza della moralità fra gli ecclesiastici. Nello stesso periodo molti nobili della zona fecero ingenti donazioni al centro religioso, con le cui eccedenze fu possibile realizzare la ricostruzione della chiesa stessa. Contemporanea a tale riedificazione è la nascita della leggenda legata alla scelta del luogo per costruire l'abbazia: il re Ratchis, impegnato in una battuta di caccia, vide un albero con al di sopra la figura del Salvatore e della Trinità e decise perciò di costruire una chiesa da titolare proprio al Salvatore, classica dedicazione longobarda. La leggenda ricalca perfettamente la volontà moralizzatrice dell'abate Winizo e conferisce origine regale al complesso attraverso la figura del longobardo Ratchis.

Dall'XI secolo poche sono state le modifiche all'assetto territoriale del monastero, eccezion fatta per la perdita dei possedimenti nei pressi di Viterbo e la sempre maggiore importanza legata alle proprietà nel grossetano e alla sempre più influente relazione con la famiglia Aldobrandeschi.

Nel 1027 si assiste alla restaurazione degli antichi possedimenti sotto l'egida del monastero del Salvatore, effetto della politica attuata da Corrado II: il ripristino delle funzioni amministrative diventa fattore determinante per la costruzione della nuova chiesa da parte dell'influente e carismatico abate Winizo, eletto nel 1004. Nel corso dell'XI secolo, il monastero mantiene l'appellativo di Imperiale ma di fatto diventa il complesso di proprietà della famiglia Aldobrandeschi; negli stessi anni si ha testimonianza di altri monasteri imperiali privati degli incarichi economici e politici, segno che fosse una circostanza diffusa sul territorio e non un caso isolato.

Durante il XII secolo, con la costruzione di nuovi centri religiosi nella zona si disperde il prestigio e l'importanza spirituale dell'abbazia del Salvatore, soprattutto con la fondazione della Santissima Trinità alla Selva, centro prediletto dalla menzionata famiglia Aldobrandeschi.

Nel 1164 l'abbazia del Salvatore si trova per volere imperiale nei possedimenti del conte Ildebrando Aldobrandeschi e il centro amministrativo imperiale viene posto a San Quirico d'Orcia.

Dal 1194 solo il Papa e l'Imperatore si scontrano per l'egemonia sul complesso amiatino perché Enrico VI fissa nuovamente la posizione giuridica dell'abbazia come un «Reichskloster», ovvero monastero ricco. All'improvvisa morte di Enrico VI, nel 1197, la città di Siena, attraverso la Lega di San Genesio di cui facevano parte i conti Guidi e gli Aldobrandeschi, abbandona la zona amiatina per lasciarla all'influenza dell'alleata Orvieto.

Il Duecento si rivela un periodo di grande crisi spirituale, il Pontefice Gregorio IX dispone, senza consultare l'Imperatore, l'abbandono del monastero dei monaci benedettini per assegnarlo all'ordine cistercense.

La decisione avventata del Papa, all'oscuro di Federico II che risiedeva a San Quirico d'Orcia, sancisce la fine del rapporto tra l'Impero e l'abbazia del monte Amiata fino al 1231, anno in cui Federico II scrisse un diploma con il quale dava il diritto al monastero del Salvatore di diventare un'abbazia cistercense, a patto che tale complesso rimanesse vassallo dell'imperatore, riconoscendo perciò all'autorità imperiale i privilegi, anche andando contro gli statuti cistercensi.

A causa della mancanza di documentazione relativa al complesso nei secoli successivi al XIII è difficile ricomporre l'assetto degli ambienti dell'abbazia; possiamo inserire San Salvatore all'interno degli studi condotti sugli altri centri religiosi dell'ordine cistercense, partendo dal presupposto che l'ordine arriva sull'Amiata soltanto a partire dal 1228, quando ormai la fisionomia del monastero era stata dettata dal precedente ordine benedettino che l'aveva abitato fino a quel momento. Dal 1500 al 1520 avvenne la costruzione del campanile: nel 1515 si arrestò il cantiere a causa di un violento terremoto; nel 1578 è documentata dal Negri una trasformazione dell'edificio che ne snatura i caratteri originari secondo l'estetica del XVII secolo. Una relazione di cantiere datata 15 giugno 1650 attesta l'innalzamento della navata, tramite un riempimento di terriccio e vi è la definitiva eliminazione del diaframma che separava gli ecclesiastici dai fedeli, ampliando così la navata. Nel biennio 1650-1651 si vide la continuazione dei lavori per il nuovo assetto della chiesa, tra cui gli affreschi dipinti da Francesco Nasini negli archi del presbiterio e delle cappelle laterali. Al 1683, sotto la guida dell'abate Adami, è datata la chiusura definitiva delle scale che conducevano alla cripta, da questo momento utilizzata esclusivamente come sepolcro e venne nominata «ossaia»: vi si poteva accedere dal chiostro e dall'esterno della chiesa, dal transetto destro.

Nel 1770, 1775 e 1781 vennero redatti gli inventari capitolari nel decennio prima della soppressione, necessari per comprendere la sistemazione degli ambienti all'interno del complesso. Pietro Leopoldo il 27 luglio 1782 decise di sopprimere le abbazie cistercensi di Abbadia San Salvatore e quella di Buonsollazzo: i beni delle due abbazie vengono assegnati alle abbazie rimaste di Settimo e Cestello.

L'abbazia rimase ai cistercensi con il compito di mantenerla, ma dal 1783 divenne l'arcipretura della terra di Abbadia. Secoli più tardi, nel 1939, l'ex abbazia venne riconsegnata ai cistercensi: negli anni '60 il monastero acquistò altri locali intorno e iniziarono i restauri sotto la guida della Soprintendenza ai beni architettonici e ambientali di Siena. Nel 2010 venne definitivamente soppresso il monastero cistercense.

Le differenti ipotesi cronologiche e costruttive della cripta indagate mediante l'analisi delle murature

Fino all'inizio del secolo scorso, l'intero complesso architettonico dell'abbaziale del Santissimo Salvatore al Monte Amiata non godeva, almeno fin da quando era stato soppresso, di particolare attenzioni conservative e manutentive, ma nemmeno di alcun riconoscimento riguardo il suo pregio artistico e storico, nonostante la sua storia ultramillenaria e le sue pregevoli opere d'arte stessero lì a dimostrare esattamente il contrario. Infatti, in un attardato clima di misconoscimento dei pregi storici e soprattutto artistici di tutto ciò che apparteneva all'epoca medievale, ancora negli anni '80 del XIX secolo, la Commissione consultiva per le belle arti di Siena afferma che «la chiesa dei Cistercensi nel Comune di Abbadia San Salvatore non ha importanza artistica, né per la storia dell'arte», riconoscendole «solo un certo valore storico», ma unicamente per il fatto di «essere stata ricostruita nel XV o XVII secolo, sopra un'antica chiesa».[3] Solo in seguito al sopralluogo fatto al complesso abbaziale dall'ispettore regionale per la conservazione dei monumenti, nel 1900, questi è in grado di riconoscere come esso sia «uno dei più antichi e più celebri monasteri della Toscana» e come la precedente osservazione che negava all'abbaziale ogni valore storico, ritenendo che «non è importante per la storia dell'arte», sia, invece, «gratuita ed erronea, perché nonostante l'abbandono secolare, le deturpazioni infinite che le sono state arrecate, i danni delle frane incalzanti, l'edificio è degno di figurare con onore nell'elenco dei monumenti di importanza regionale». Infine, l'ispettore ai monumenti non può fare a meno di specificare quale sia l'ambiente architettonico che più l'ha colpito e che rende maggiormente pregevole, dal punto di vista artistico, l'intero complesso: «La parte più artisticamente preziosa è la cripta, la più vasta fra quante io abbia avuto occasione di visitare».[4]

Ma sarà lo storico dell'architettura tedesco Hans Thümmler, nel 1939, a fornire il primo rilevante riconoscimento storico-critico nei riguardi del complesso monastico amiatino, esponendo come, nonostante il monastero non abbia ancora ricevuto nessuna menzione nella letteratura artistica fino ad allora, meriti sicuramente di figurare nell'elenco dei monumenti più rilevanti d'Italia.[5]



Figura 2
Cripta dell'abbaziale del Santissimo Salvatore al Monte Amiata (Foto dell'autore)

In seguito al prolungato e determinante interesse, soprattutto dal punto di vista degli studi storico archivistici, mostrato da Wilhelm Kurze, nei riguarda del monastero amiatino,[6] un'importante occasione di studio architettonico dell'abbaziale viene fornita dal convegno internazionale di studi storici su *L'Amiata e il medioevo*, svoltosi ad Abbadia San Salvatore nel 1986 nel quadro delle celebrazioni per il 950° anniversario della consacrazione della chiesa abbaziale. Negli atti che ne conseguono, il tedesco Franz L. Much, pubblica una lettura di tipo archeologico relativa, soprattutto, all'analisi diretta dei rapporti architettonici che intercorrono tra i vari elementi che compongono il monumento.[7] I lavori che si erano susseguiti nella cripta fin dal 1923, con Soprintendente Gino Chierici,[8] mediante lo sterro della parte interrata, e proseguiti con l'architetto Egisto Bellini tra il 1927-28 e il 1931, avevano finito per riaprire gli accessi originari e rinvenire le basi delle colonne del braccio longitudinale della cripta che proseguiva in direzione della navata della chiesa superiore ed era stato demolito in epoca tardobarocca. Inoltre, grazie ai lavori intrapresi nel 1963, era stata ricostruita la parte di cripta eliminata nel corso del Settecento, ricollocando delle nuove colonne e capitelli in pietra, realizzati in forme semplificate, sulle basi che erano state rinvenute negli anni '20 e ricostruendone le voltine delle navate con opere in cemento armato, oltre a liberare alcune colonne originarie dalla muratura in cui erano state precedentemente inglobate.[9] Con l'occasione erano stati effettuati anche degli scavi parziali all'interno delle murature di alcune delle absidi (figuras 2 y 3). Much poteva così tentare di «leggere» le murature della cripta liberate e ripulite, analizzandone i tipi di apparecchiature e le relazioni

che intercorrono fra le varie loro parti diverse. Notando come le sporgenze dei semipilastri su cui scaricano le voltine della cripta aggettino «senza connessione» dai muri perimetrali dell'edificio e come in entrambe le absidiole del coro settentrionale si scorga «che le strutture sostenenti le volte sono poste di fronte a un triconco», ed altre osservazioni del genere, valuta che l'evoluzione architettonica della cripta possa suddividersi in tre distinte fasi principali. La prima, in cui ravvisa l'esistenza di tre triconchi, separati da massicci blocchi di muratura, di cui non si conosce l'altezza per esserne rimaste solo le pareti fino ad un'altezza di circa tre metri. Per lo studioso tedesco, questa prima fase, la più antica ad essersi conservata ed a cui apparterrebbero i «muri perimetrali della cripta e gli angoli visibili dei muri dell'abside», sarebbe da ascrivere al IX secolo, periodo che risulta essere stato per l'abbazia particolarmente florido economicamente, e che dovrebbe quindi aver costituito la chiesa abbaziale d'epoca carolingia, escludendo l'ipotesi già formulata da Volpini, di una chiesa a cinque navate con cinque ingressi, individuabile nell'attuale cripta, da mettere in relazione con la fondazione del re longobardo Ratchis.[10] Ad una seconda fase apparterrebbe, invece, l'intero sistema di voltatura della cripta, con tutte le strutture su cui esso poggia, ovvero i semipilastri, le semicolonne del braccio meridionale e le fodere di muratura che ricoprono l'originario apparato delle tre absidi triconche, di cui quelle laterali poste nei cori a sud e nord sarebbero state tamponate, formando delle nicchie piatte. Questa seconda fase, in cui sarebbe stato anche rialzato il pavimento della zona orientale, secondo Much, corrisponderebbe alle trasformazioni, dell'originaria struttura abbaziale ormai in rovina, volute dall'abate Winizo e conclusesi con la consacrazione del complesso chiesastico, costituito dalla cripta ricavata nei resti della chiesa preesistente e da una nuova chiesa superiore, documentata nel 1035. Nella terza fase furono eliminate le tre absidi semicircolari orientali,[11] sostituendole con muri rettilinei, ed, inoltre, Much pensa che allo stesso tempo siano state realizzate alcune ricostruzioni a causa di dissesti, come quelle di alcune parti dei muri perimetrali del braccio meridionale della cripta e come l'aggiunta del pilone murario rettangolare di rinforzo allo spigolo interno meridionale dell'innesto del braccio sud della cripta con quello ovest longitudinale. Tali rimaneggiamenti, andrebbero datati all'epoca in cui il complesso monastico era passato ormai ai cistercensi nel 1228.



Figura 3
Absidiola nord dell'abside triconca settentrionale della cripta dell'abbaziale del Santissimo Salvatore al Monte Amiata (Foto dell'autore)

Agli studi di Much sull'abbaziale amiatina del 1986, facevano eco, appena due anni dopo, sempre nel quadro delle manifestazioni del 950° anniversario della consacrazione dell'abbaziale, le acute osservazioni di Luca Giubbolini,[12] il quale tornava sull'argomento anche nel 1990. Facendo presente come già Much non escludesse nemmeno che le due prime fasi, che lo studioso tedesco faceva corrispondere alla costruzione delle mura perimetrali e alla creazione delle volte della cripta, abbiano anche potuto riflettere solamente un cambiamento di progetto e quindi risultare non molto distanti cronologicamente, Giubbolini concludeva, adducendo anche argomentazioni concernenti la tipologia e di carattere stilistico sull'edificio, come l'ipotesi di un eventuale cambiamento di progetto potesse risultare



Figura 4
Absidiola nord dell'abside centrale dell'abbaziale del Santissimo Salvatore al Monte Amiata (foto dell'autore)

«la cosa più verosimile», pur restando aperti nuovi campi d'indagine.

Da tali premesse ha preso le mosse un'ampia indagine, condotta da chi scrive, basata sull'analisi tipologico-stilistica dei vari tipi di cripte medievali in un'ampia area tosco-umbro-laziale circostante la cripta amiatina, su una ricerca archivistica condotta soprattutto sulla documentazione relativa ai restauri che hanno reso la cripta nelle forme in cui oggi appare, e soprattutto su un'analisi diretta relativa all'osservazione e catalogazione delle varie murature presenti nella stessa cripta amiatina e ai rapporti che intercorrono tra le sue diverse parti murarie.[13] Da tutto ciò ne è scaturita una lettura delle varie fasi dell'attuale cripta del Santissimo Salvatore che, in questa sede, per brevità di spazio, può essere riassunta nell'allegata pianta (figura 1), in cui, illustrandola sinteticamente, si può osservare come siano individuate le murature facenti parte di una prima fase originaria, caratterizzata, almeno nelle absidiole laterali da piante di tipo triconco, e nella quale vanno compresi anche i semipilastri angolari occidentali dei bracci del transetto (a differenza di tutti gli altri semipilastri di sostegno delle volte della cripta); quelle di una seconda fase in cui furono realizzati i restanti sostegni e le volte della cripta, con la realizzazione dell'intero muro perimetrale occidentale; una terza fase corrispondente alle trasformazioni del XIII secolo, comprendenti l'eliminazione delle absidi semicircolari; una serie di fasi successive relative ad aperture e chiusure di porte, opere di consolidamento strutturale, apertura o modifica di monofore; ed infine, la fase concernente i restauri degli anni Sessanta del secolo scorso, in cui furono ripristinati gli ingressi originari e ricostruiti sostegni e volte del braccio longitudinale della cripta.[14] Tutto ciò sembrerebbe avvalorare l'ipotesi che sia le strutture perimetrali della prima fase e sia quelle interne della seconda, che costituiscono l'attuale cripta, siano da attribuire ad un lasso di tempo cronologicamente molto vicino e che addirittura possano essere state concepite simultaneamente. Inoltre, per tipo di murature impiegate, entrambi le due fasi possano ascriversi benissimo all'epoca costruttiva coincidente con quella in cui si colloca la data della consacrazione del 1035. Eventuali preesistenze possono essere rintracciate in alcuni blocchi di reimpiego che si trovano in parti della cripta corrispondenti alle prime due fasi e che presentano motivi a bassorilievo di intrecci viminei e rosette, ascrivibili al IX secolo, probabilmente facenti parte di una precedente chiesa di cui ancora non sono state rintracciate le strutture architettoniche, nemmeno con gli scavi archeologici effettuati sino ad oggi.

Notas

1. Il presente studio è opera di Giulia Maria Palma per il primo paragrafo riguardante le note storiche dell'abbazia e della sua cripta, mentre Renzo Chiovelli ha scritto l'introduzione e il secondo paragrafo riguardante le analisi murarie e le fasi costruttive della cripta; Vania Rocchi ha redatto i grafici architettonici.
2. Per una più ampia esposizione delle vicende storiche relative all'abbaziale del Santissimo Salvatore si veda Palma (2015-2016) e (2017-2018).
3. Cfr. Archivio della Soprintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio di Siena, fascicolo H25, documento 12.

4. Circa le considerazioni formulate dagli storici dell'arte, addetti alla tutela dei monumenti del senese, sull'abbaziale amiatina si vedano Prezzolini (1990) e Angelini (2003).
5. Si veda a tale proposito Thümmler (1939), traduzione italiana in Thümmler (1988), per quanto riguarda la sola parte concernente l'abbaziale del Santissimo Salvatore.
6. Si vedano, tra i suoi numerosi studi sull'abbazia, oltre al monumentale Kurze (1974-2004), quelli riguardanti più specificatamente le vicissitudini storiche del complesso monastico in Kurze (1986) e Kurze (1989).
7. Cfr. Much (1989), in cui oltre all'analisi delle strutture della cripta e delle sue absidi, vengono prese in considerazione soprattutto anche quelle della facciata a due torri della chiesa e del corpo del transetto triabsidato.
8. L'architetto Gino Chierici (Pisa 1877-Milano 1961) fu soprintendente della Regia Soprintendenza ai Monumenti per le Province di Siena e Grosseto dal 1919, fino al 1924, quando fu inviato a ricoprire il ruolo dirigente della Regia Soprintendenza dell'Arte medievale e moderna in Campania. La Soprintendenza senese conserva il *Fondo Gino Chierici*, di disegni e fotografie, donatole dagli eredi dell'architetto nel 2013.
9. Sui restauri novecenteschi che hanno ripristinato l'abbaziale e la sua cripta nelle forme in cui la vediamo oggi, si consulti Avetta (1988).
10. Cfr. Volpini (1929, 10, 15), per il quale la cripta costituirebbe la chiesa originaria dell'VIII secolo, inglobata alla fine del X secolo nell'edificazione della chiesa superiore; l'ipotesi di Volpini era già stata esclusa da Salmi (1930, 6-7, 33 n. 12), e Thümmler (1939, 195-203; 1988, 229-233).
11. Dell'abside centrale e di quella settentrionale rimangono i resti murari delle parti inferiori all'interno dei locali annessi ad est della cripta, mentre quella meridionale è stata indicata con una traccia pavimentale a terra in fondo al vicolo che costeggia il lato meridionale della chiesa, fino a giungere all'angolo sud-est dell'abbaziale.
12. Vedi Giubbolini (1988) e (1990); lo stesso autore aveva curato le traduzioni dei saggi di Much e di Thümmler sull'abbaziale amiatina.
13. Per le analisi delle murature si è fatto riferimento a quanto riportato per le murature medievali della Tuscia e dell'area amiatina in Chiovelli (2007). Un primo sommario risultato di tali indagini relative alla cripta amiatina ed a quelle umbro-tosco-laziali è stato recentemente riassunto in Chiovelli-Palma (2018), una più ampia illustrazione può essere consultata in Palma (2017-18). Più specificatamente, sulla cripta amiatina in relazione con quelle della Tuscia laziale e della bassa Toscana si veda quanto riportato nei vari saggi contenuti in Chiovelli (2018) e, per la sola area alto laziale, l'altrettanto recente Creti (2016) e le bibliografie in essi riportate.
14. Per una maggiore comprensione delle fasi costruttive della cripta abbaziale del santissimo Salvatore, la pianta appositamente redatta, indica in leggenda, per ogni diversa fase, ciò che appare nel rilievo delle murature in sezione e ciò che invece risulta proiettato al disotto della linea di sezione (delimitato con linea continua) oppure proiettato al di sopra della linea di sezione (delimitato con linea tratteggiata).

Lista de referencias

Angelini, Alessandra. 1988. La tutela statale dell'Abbazia attraverso gli uffici periferici dello Stato dalla fine del 1800 agli anni '60. In *L'abbazia di San Salvatore al Monte Amiata. Documenti storici, architettura, proprietà*, a cura di W. Kurze e C. Prezzolini, 111-119. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Avetta, Carlo. 1988. Il restauro novecentesco dell'abbazia. Confronto fra la teoria e le metodologie adottate. In *L'abbazia di San Salvatore al Monte Amiata. Documenti storici, architettura, proprietà*, a cura di W. Kurze e C. Prezzolini, 101-110. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Chiovelli, Renzo. 2007. *Tecniche costruttive murarie medievali. La Tuscia*. Roma: «L'Erma» di Bretschneider.

Chiovelli, Renzo; Palma, Giulia Maria. 2018. L'abbazia del Santissimo Salvatore al Monte Amiata e la sua cripta nell'ambito delle cripte tosco-umbro-laziali. In *Le cripte del Santo Sepolcro di Acquapendente e del Santissimo Salvatore al Monte Amiata nell'ambito delle cripte* ad oratorium *della Tuscia*, a cura di R. Chiovelli, 155-174. Acquapendente: Comune di Acquapendente – C.I.S.Sa.S. Centro Internazionale di Studi sul Santo Sepolcro.

Chiovelli, Renzo. 2018. *Le cripte del Santo Sepolcro di Acquapendente e del Santissimo Salvatore al Monte Amiata nell'ambito delle cripte* ad oratorium *della Tuscia*, a cura di R. Chiovelli. Acquapendente: Comune di Acquapendente – C.I.S.Sa.S. Centro Internazionale di Studi sul Santo Sepolcro.

Creti, Luca. 2016. Considerazioni sulle cripte medievali «a sala» o «a oratorio» del Lazio settentrionale. *Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura*, n.s., 64: 5-26.

Giubbolini, Luca. 1988. San Salvatore al Monte Amiata: testimonianze architettoniche e trasformazione di un edificio medioevale. Profilo di una vicenda storiografica. In *L'abbazia di San Salvatore al Monte Amiata. Documenti storici, architettura, proprietà*, a cura di W. Kurze e C. Prezzolini, 59-81. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Giubbolini, Luca. 1990. La chiesa abbaziale di San Salvatore nella cultura architettonica e scultorea dell'XI secolo.

Problemi, confronti, proposte. In *Romanico nell'Amiata. Architettura religiosa dall'XI al XIII secolo*, a cura di I. Moretti, 57-76. Firenze: Salimbeni.

Kurze, Wilhelm. 1974-2004. *Codex diplomaticus Amiatinus*, voll. I-IV. Tubingen: M. Niemeyer.

Kurze, Wilhelm. 1986. «Monasterium Erfonis». I primi tre secoli di storia del Monastero e la loro tradizione documentaria. In *950° della consacrazione della nuova chiesa dell'abbazia di S. Salvatore al Monte Amiata 1035-1985*, 21-39. Siena: Monaci Cistercensi dell'Abbazia di San Salvatore.

Kurze, Wilhelm. 1989. I momenti principali della storia di San Salvatore al Monte Amiata. In *L'Amiata nel Medioevo. Atti del convegno per il 950° della Abbadia di San Salvatore al monte Amiata (Abbadia S. Salvatore, 29 maggio - 1° giugno 1986)*, a cura di M. Aschieri e W. Kurze, 33-48. Roma: Viella.

Much, Franz J. 1989. L'Abbazia di San Salvatore: storia e archeologia dell'architettura. In *L'Amiata nel Medioevo. Atti del convegno per il 950° della Abbadia di San Salvatore al monte Amiata (Abbadia S. Salvatore, 29 maggio - 1° giugno 1986)*, a cura di M. Aschieri e W. Kurze, 323-360. Roma: Viella.

Palma, Giulia Maria. 2015-2016. *L'Abbaziale del Salvatore al Monte Amiata*, tesi di laurea in Storia dell'arte medievale. Relatore Pio Francesco Pistilli. Roma: Facoltà di Lettere e Filosofia, Corso di laurea in Studi storico artistici, «Sapienza» Università di Roma.

Palma, Giulia Maria. 2017-2018. *La cripta del Santissimo Salvatore al Monte Amiata: chiesa longobarda o cripta romanica?* Tesi di laurea in Archeologia e Storia dell'arte, tutela e valorizzazione. Relatrice Maria Raffaella Menna. Correlatore Renzo Chiovelli. Viterbo: Corso di laurea magistrale, Università degli studi della Tuscia.

Prezzolini, Carlo. 1990. I restauri nelle chiese romaniche dell'Amiata. In *Romanico nell'Amiata. Architettura religiosa dall'XI al XIII secolo*, a cura di I. Moretti, 161-188. Firenze: Salimbeni.

Prezzolini, Carlo. 2018. La nuova chiesa abbaziale di San Salvatore: un canto della pietra al mistero della Santissima Trinità. In *Le cripte del Santo Sepolcro di Acquapendente e del Santissimo Salvatore al Monte Amiata nell'ambito delle cripte* ad oratorium *della Tuscia*, a cura di R. Chiovelli, 133-140. Acquapendente: Comune di Acquapendente – C.I.S.Sa.S. Centro Internazionale di Studi sul Santo Sepolcro.

Salmi, Mario. 1930. *L'architettura romanica in Toscana*. Milano-Roma: Bestetti e Tumminelli.

Thümmler, Hans. 1939. Die Baukunst des XI. Jahrhunderts in Italien. *Romisches Jahrbuch fur Kunstgeschichte*, III: 141-226. Ed. ital.

Thümmler, Hans. 1988. L'architettura dell'XI secolo in Italia: Abbadia San Salvatore, traduz. di Luca Giubbolini. In *L'abbazia di San Salvatore al Monte Amiata. Documenti storici, architettura, proprietà*, a cura di W. Kurze e C. Prezzolini, 229-233. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Volpini, Raffaello. 1929. *La basilica o chiesa longobardica amiatina di S. Salvatore. Abbadia S. Salvatore, Siena*. Abbadia San Salvatore: Tip. R. Paoli.

Materiales y técnicas constructivas de la arquitectura tradicional a través de las fuentes documentales: el caso de La Mancha

Diego Clemente Espinosa

El deterioro de la arquitectura tradicional en nuestro país es patente en la gran mayoría de regiones. En algunas no se puede hablar de deterioro sino de desaparición. En el caso concreto de La Mancha en la provincia de Ciudad Real los ejemplos que antes inundaban nuestras poblaciones se reducen prácticamente a ejemplos aislados. Si el ritmo de desaparición de la arquitectura tradicional continúa sin freno, en pocos años serán reductos aislados que apenas nos permitirán estudiar sus técnicas constructivas o los materiales que se emplearon en su construcción debido a que muchas de ellas se encuentran enmascaradas por el empleo de materiales modernos. En este sentido recurrir a las fuentes documentales nos puede ser de gran utilidad para conocer estos ejemplos de arquitecturas del pasado.

De sobra conocemos que la arquitectura tradicional no ha generado documentación por sí misma. No existen contratos de obra (alguno conocemos pero son verdaderamente excepcionales), planos, condiciones… Pero afortunadamente contamos con una serie de fuentes documentales que aunque su fin en principio no es el propio estudio de la arquitectura tradicional, con una lectura atenta podremos extraer datos de indudable interés para conocer en detalle los materiales y las técnicas constructivas empleadas en su ejecución. Aunque nosotros nos vamos a circunscribir en estas páginas al caso concreto de La Mancha, las mismas fuentes documentales se pueden emplear para el resto del país. El recorrido a través de dichas fuentes lo realizaremos de manera cronológica.

El siglo XVI

En este siglo contamos con la que posiblemente sea la mejor y más estudiada fuente para conocer nuestros pueblos en el siglo XVI: las que se conocen como las Relaciones Topográficas de Felipe II. Esta documentación ha sido ampliamente estudiada y utilizada para diversos trabajos e investigaciones.[1] Se trata de las respuestas dadas a unos cuestionarios enviados por la Corona a numerosas poblaciones peninsulares. Se requería a los vecinos, como conocedores del lugar, que aportaran información sobre las características del territorio, producciones, economía, antecedentes históricos, aspectos de carácter geográfico, etc, y en el caso que nos ocupa, se pregunta sobre el número de las casas y edificios que hay en el pueblo, así como los materiales con los que están construidos. Se pretendía por tanto obtener un registro de información que luego pudiera ser utilizada para diversos fines. Este corpus documental se nos plantea como el testimonio de mayor antigüedad que nos ofrece información útil sobre materiales y técnicas constructivas en la Edad Moderna.

A pesar de la importancia que tienen las *Relaciones* y de la gran cantidad de estudios que se le han dedicado, pensamos que han sido pocos los dedicados a estudiar la arquitectura tradicional del último cuarto del siglo XVI en la Corona de Castilla. Entre los estudios más destacados encontramos los de los profesores Antonio y Julia López Gómez, quienes

dedicaron varios de ellos a la vivienda rural con esta fuente documental como referencia.[2]

De las 59 preguntas que consta el cuestionario de 1575, sin lugar a dudas la número 35 es la que nos aporta una mayor cantidad de información para conocer la arquitectura tradicional de la zona. Se pregunta sobre las suertes de las casas y edificios que se usan en el pueblo, y de qué materiales están edificadas, y si los materiales los hay en la tierra o los traen de otra parte». En el caso de la pregunta número 36, que solicita información sobre «los edificios señalados que en el pueblo hubiese, y los rastros de edificios antiguos, epitafios y letreros, y antiguallas de que hubiese noticia». Y también la número 39 que pregunta sobre «las casas y [Ms. número de] vecinos que al presente en el dicho pueblo hubiese, y si ha tenido más o menos antes de ahora, y la causa por que se haya disminuido». A través de la número 23, podemos conocer la existencia o no de pozos en las viviendas.

En cuanto a los materiales empleados, como era de esperar, la tierra aparece como el material más abundante y que se nombra con mayor frecuencia. De las 30 poblaciones de nuestra zona de estudio con las que contamos *Relaciones*, en 26 de ellas se nombra la tierra. Hecho que demuestra que mayoritariamente fueron edificios construidos con tapias de tierra. En cuanto a este material, en algunas ocasiones se especifica que se encuentra o bien dentro de las mismas casas: «la tierra está en los mismos edificios» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 2: 519) o también se dice «algunos se hacen de la tierra que hay dentro de las casas» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 424), en otros casos se encuentra en el entorno, así sucede en Santa Cruz de Mudela, que manifiestan que la «tierra para tapiar hay abundancia en la dicha villa y sus términos de ello» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 2: 839). Únicamente en el caso de Daimiel se dice existen terrenos públicos para obtenerla: «la tierra la hay junto al pueblo donde hay terrenos públicos que traen para hacer las tapias» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 424).

La piedra, otro material fundamental para realizar los cimientos de las construcciones aparece nombrada en más de la mitad de las poblaciones. Por citar algunos ejemplos: «las casas de esta villa se van haciendo los cimientos de piedra y barro» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 186) es lo que se dice en Argamasilla de Alba. Sucede lo mismo en Campo de Criptana: «las casas se hacen en esta villa de piedra y tierra…» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 308). También en Daimiel se dice que las viviendas son de cimientos de piedra y barro, al igual que en Herencia: «las casas de esta villa son de cimiento de piedra…» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 2: 518).

En muchos casos el hecho de que no aparezca nombrado no quiere decir que no se use, sino que puede que sea tan obvio que se omite por ser tan habitual su utilización o presencia en las construcciones.

El barro también aparece en algunas poblaciones unido a la piedra para formar el mortero de unión de éstas. Sin lugar a dudas es la forma más económica de trabar las piedras para hacer los cimientos.

Después de la tierra, el material más nombrado en las *Relaciones* es la madera, aparece en las respuestas de 17 poblaciones. Se usa de manera exclusiva para realizar la estructura de la cubierta de los edificios. Una constante en todos los pueblos es que ninguno de ellos dispone de este material en su término (en Bolaños de Calatrava se deja bien claro: «no tienen madera de pino, provéense de la sierra de Cuenca y Alcaraz, a treinta leguas») (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 242), por lo que tiene que ser traído de fuera, fundamentalmente de la serranía de Cuenca o Alcaraz, así es como se expresa en Arenas de San Juan, Argamasilla de Alba, Bolaños de Calatrava, Campo de Criptana, Corral de Calatrava, Daimiel, Herencia, Malagón, Socuéllamos o Villanueva de los Infantes.

También la pregunta 35 nos ofrece información sobre las materias vegetales empleadas en la cubierta de las viviendas. La cubierta vegetal sería la alternativa más económica, y ciertamente arcaica, que podríamos encontrar en las viviendas, coexistiendo con la teja. Solamente en cinco poblaciones se nombra este tipo de materiales como alternativa a la teja. El carrizo es el más nombrado, seguido de retama, atocha y únicamente la paja en la población de Villarta de San Juan: «y algunas de paja» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 2: 1139). En Alcolea de Calatrava nos dicen que «las más de carrizo y retama» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 331) y en Caracuel de Calatrava únicamente nos habla de retama (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 46).

La cal, como material que requiere de una elaboración y transformación previa a su utilización es el más importante de todos. Se podrá utilizar junto con

la arena para fabricar un mortero de cal, añadida a la tierra con la que se realizan las tapias (mezclada con la tierra, en tongadas o para las juntas de los cajones del tapial) o bien como recubrimiento de los paramentos murales de tierra.

Este material, de vital importancia en la construcción tradicional, lo encontramos nombrado en cerca de la mitad de las poblaciones de las que contamos con *Relaciones*.

El yeso, también un material muy utilizado en la arquitectura tradicional, aparece nombrado en 11 poblaciones, aunque llama la atención que en localidades de importancia no aparezca ninguna mención, como es el caso de Daimiel, Tomelloso o Villarrubia de los Ojos.

La teja se nombra en 14 poblaciones, en aquellas en las que no se nombra puede que se haga por obviedad o por el contrario se utiliza un tipo de cubierta vegetal.

Mayoritariamente será el tipo de material más utilizado para realizar las cubiertas de las viviendas, así es como se especifica a la hora de describirlas. Por lo general se dice *cubiertas de teja* o cuando existiera una alternancia clara con otros materiales se expresa como en Alcolea de Calatrava: «algunas cubiertas de teja, y las más de carrizo y retama» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 46).

En cuanto a las técnicas constructivas, gracias a las Relaciones sabemos que mayoritariamente se emplean las tapias de tierra.

Ésta va a ser la técnica utilizada de manera generalizada en todas las poblaciones. Aparece nombrada en todas las poblaciones, con distintas denominaciones: *tapias de tierra,*[3] *tapias,*[4] *tapiería de tierra o tapiería,*[5] o simplemente encontramos *tierra o tierra tapiada.*[6] En algunas de las poblaciones podemos encontrar varias de estos nombres en la misma respuesta.

Algunas veces comprobamos como la forma de edificar las tapias incluye las rafas. De los dos casos que aparecen nombrados, en uno no se especifica el material (Cañada de Calatrava) y en el otro se especifica que se trata de ladrillo (Malagón), aunque hay que hacer una salvedad, ya que esta forma de construir no sería la propia de la arquitectura tradicional. En la respuesta de Malagón se indica en primer lugar que «las casas ordinarias son ruines; es tapiería de tierra» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 2: 560), aunque «algunas tienen acercadas con cal y rafas de ladrillos» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 2: 560).

La mampostería será la técnica con la que se realice el zócalo o cimiento sobre el que se levanten los muros de tapia. El mortero que se utiliza para trabar estas piedras es barro o en otros casos mortero de cal, según las posibilidades económicas del propietario.

En algunos casos no se especifica que las viviendas tenían este tipo de cimientos, posiblemente porque era una cuestión tan obvia que se omite.

A través de las distintas respuestas podemos obtener datos acerca de la manera en la que se construyen estos cimientos. En Alcubillas nos dicen: «los cimientos que se sacan de [de la] tierra que son de piedra hasta una tapia en alto poco más o menos» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 59). Idéntica información obtenemos de la respuesta de Miguelturra. También en Argamasilla de Alba nos informan a este respecto: «se van haciendo los cimientos de piedra y barro, ordinariamente una vara en alto y otras menos» (Campos y Fernández De Sevilla 2009, 60).

A pesar de toda la información relativa a materiales y técnicas constructivas, carecemos de mucha información relativa a la distribución espacial de las viviendas.

El siglo XVIII

A mediados del siglo XVIII nos encontramos con otro de los grandes corpus documentales que nos van servir de guía para conocer la arquitectura doméstica de La Mancha en esta época. Se trata del Catastro de Ensenada. Ésta ha sido y es una fuente documental muy utilizada y estudiada (sobre todo en lo que se refiere a las Respuestas Generales*)* pero para otro tipo de estudios, al igual que veíamos sucedía con las *Relaciones*. Puede que todavía no haya despertado el debido interés de los historiadores del Arte en este sentido, que encontramos aquí una herramienta de primera mano para conocer la arquitectura y el urbanismo de nuestros pueblos a través de una recogida sistemática de datos que nos describe cada una de las poblaciones al completo, calle por calle y casa por casa.

El Catastro de Ensenada[7] fue el paso previo a una reforma fiscal, que finalmente no se llevó a efecto, con el propósito de simplificar las vigentes y complicadas rentas provinciales y sustituirlas por una Única

Contribución *a proporción de lo que cada uno tiene, con equidad y justicia*. Para poder conocer la renta real de las personas, lugares, provincias del Reino, era necesario hacer previamente una «averiguación» universal de todos los bienes de los vasallos, sin excepciones, también de los eclesiásticos y de los nobles. Así es como el Catastro se realizó con las declaraciones de bienes de los titulares, comprobación de la veracidad por la Administración con ayuda de los peritos y técnicos, constitución de los libros donde se registraba todo.

Para realizar esa averiguación se redactaron 41 artículos o capítulos, que explicaban con todo detalle la forma de proceder, lo que había que averiguar, como fijar las utilidades, rentas y los libros oficiales en que todo debía quedar recogido y formalizado. Se complementó esta información con una serie de formularios y anexos, con modelos y ejemplos prácticos.

Dentro de las preguntas que se planteaban en el llamado interrogatorio, vamos a encontrar dos que nos van a resultar de interés nosotros. En primer lugar la número 21: «de qué número de vecinos se compone la población y cuántos en la casas de campo o alquerías».[8] Y también la número 22: «Cuántas casas habrá en el pueblo, qué número de inhabitables, cuántas arruinadas; y si es de señorío, explicar si tienen cada una alguna carga que pague al dueño por el establecimiento del suelo, y cuánto».[9]

Toda fuente documental tiene sus bondades y sus carencias. Entre los aspectos positivos de ésta se encuentra el hecho de poder conocer las dimensiones de las viviendas así como las dependencias de qué se compone, de cada uno de los pueblos y para cada una de las casas. Como aspecto negativo nos encontramos con que salvo en el caso de las cubiertas, y no siempre, no se enumeran ni los materiales ni las técnicas constructivas, algo que en cambio sí sucedía en las *Relaciones*.

Pasemos a ver algunos ejemplos en Campo de Criptana: la casa de Vicente Jiménez, jornalero que vive junto a su mujer y su hermana en una casa en la calle Santa Ana. La casa se compone de patio, cocina, dormitorio, corral y por alto cámara.[10] Como comprobamos no se describe nada relativo a materiales o técnicas constructivas, pero por el contrario conocemos perfectamente las piezas con las que contaba esta vivienda. En el caso de la casa de Vicente Leal, pastor sirviente de ayudador que vive con su mujer e hijo en una pequeña casa en la calle de la Aduana, y que se compone de patio, cocina, dormitorio y por alto una cámara.[11] Un ejemplo sencillo, con las piezas indispensables para el desarrollo de la vida diaria.

A través de las respuestas del Catastro podemos diferenciar la vivienda tradicional de la del propietario de posición económica más acomodada por la existencia de dependencias como sala,[12] saleta, antesala, despacho o zaguán.[13] Éstas nunca las encontraremos en las de la gente que pertenece, según se dice en el Catastro, al estado general.

El siglo XX

Desgraciadamente para el siglo XIX no disponemos de un corpus documental que nos permita de una manera general conocer aspectos concretos sobre técnicas y materiales para ahondar en el conocimiento de la arquitectura tradicional. Tenemos que llegar al siglo XX para poder recurrir a unas fuentes de indudable interés y en gran medida poco utilizadas para el estudio de la arquitectura tradicional.

La ley de 23 de marzo de 1906 planteaba la realización de un catastro parcelario con aplicaciones económicas, sociales y jurídicas[14] se pretendía fundar la tributación urbana en los Registros Fiscales de Edificios y Solares.[15] Este hecho va a hacer que se desarrollen unos trabajos de Avance Catastral a cargo de la Junta de Catastro del Ministerio de Hacienda, encargada de elaborar y comprobar los Registros Fiscales.

Entre los años 1914 y 1932 se promulgaron distintas disposiciones con el objeto de aprobar, completar y corregir los Registros Fiscales. Aquí es donde se enmarca la documentación de especial interés para nosotros: los Expedientes de Comprobación de Riqueza Urbana, que se nos presentan como una fuente documental en gran medida desconocida y no utilizada para el estudio y conocimiento de la arquitectura tradicional en La Mancha.

Bajo el título general de Expedientes de Comprobación del Registro Fiscal se incluyen diferentes tipos de expedientes: alta, baja, revisión, comprobación, reclamación y ocultación, los cuales nos proporcionan información sobre las características de los inmuebles o solares a partir de las inspecciones de los arquitectos o peritos autorizados a cuyo cargo se hallaba el Servicio del Catastro de la Riqueza Urbana. Se trata de una importante fuente fiscal de primer orden para el estudio de la estructura urbana de

las poblaciones y sus procesos de transformación que sufren en la primera mitad del siglo XX.

A pesar del indudable valor que tiene esta fuente para el conocimiento de la arquitectura tradicional, he de decir, que en el caso concreto de la provincia de Ciudad Real no se ha conservado para todas las poblaciones. En aquellas que se ha conservado también se puede dar la circunstancia de que no lo haya hecho para la totalidad de la población. Aspectos que chocan debido a la contemporaneidad de las fuentes, frente a otras de mayor antigüedad que si se han conservado en su totalidad.

De aquellas poblaciones en las que si contamos con esta documentación la cantidad de datos y el nivel de descripción cubre todas nuestras expectativas.

Para comprender mejor la importancia de esta fuente documental vamos a ver algunos ejemplos en la población de Tomelloso. Una de las viviendas situada en la calle Toledo nº 25, con una superficie total de 1056 m^2 se distribuye en 638 m^2 de superficie cubierta y 418 m^2 de superficie descubierta. Esta casa una fachada de 33 metros y 12 huecos de luz en la fachada por la parte que daba a la calle Toledo y otros 6 hacia la calle Alfonso XII. La descripción que se realiza en el expediente es la siguiente: «Se compone de una vivienda distribuida en planta baja y principal[16] y corral grande con dos puertas de servicios, una a la calle de Toledo y otra a la de Alfonso XIII; encontrándose la finca en buen estado de conservación".[17] En este caso concreto la planta alta también se dedica a zona de habitación, puesto que no se indica que sean cámaras.

En cuanto a los materiales con los que se encuentra realizada, el expediente nos dice que «su construcción es de tapiales y mampostería en las mismas fachadas y crujía, la primera crujía es de más reciente construcción que en el interior de la finca, donde existen dependencias de construcción anticuada; en cuanto a materiales, alternan en solerías, las losetas de barro, baldosín y empedrado, entramado de madera y demás usuales en la localidad».[18] Por la descripción sabemos que la vivienda se ha reformado, puesto que hace mención a que tiene una parte que denomina «de construcción anticuada». El uso de materiales cerámicos en la solería o el hecho de que como servicio complementario según se dice en otra parte del expediente, cuente con instalación de agua, está en relación con una casa acomodada.

Comprobamos como se puede extraer mucha información relativa a la distribución espacial de las viviendas así como lo que respecta al empleo de materiales y técnicas constructivas.

Otro ejemplo en este caso en la población de Torralba de Calatrava nos permite seguir indagando en la misma dirección. En la calle de las Heras nº 5 encontramos una casa de planta baja con cámara, de una superficie cubierta de 130 m^2 y 100 m^2 de superficie descubierta (dentro de esta superficie se encuadraría el patio y el corral) y 2 huecos de luz en una fachada de 10 metros (todavía predominan pocos huecos en la fachada). La descripción en este caso indica que «consta de una vivienda distribuida en planta baja, cámaras, patio y corral".[19] Los «muros de mampostería y tapial, revoco de cal, pavimento de baldosa y piedras, carpintería entendida, cubierta de teja».[20] Una descripción que bien se puede aplicar en cuanto a materiales y técnicas a cualquier otra vivienda de las poblaciones de nuestra zona de estudio. Y lo mismo sucede en cuanto a la distribución espacial.

Si estudiamos los casos de la población de Manzanares a través de esta documentación, podemos comprobar como existe un predominio de vivienda en planta baja con la parte alta dedicada a cámaras, como viene siendo habitual en nuestros pueblos de La Mancha. Y en menor medida se van a documentar vivienda solo con planta baja.

También existe homogeneidad a la hora de describir los espacios, encontramos prácticamente 2 variantes en este sentido. La primera de ellas, y muy numerosa, se trata de una descripción muy genérica como «cuerpo de edificio distribuido en planta baja, cámaras y superficie descubierta».[21] Otros tipos, con más dependencias accesorias como corral o cuadras (éstas siempre situadas al fondo) son descritas de la siguiente manera: «casa construida sobre una superficie de forma poligonal irregular, consta de una crujía en fachada, planta baja, cámara y principal; corral y cuadras al fondo».[22] Los materiales que se describen responden a las mismas características: muros de mampostería y tapias de tierra revocadas de cal, con pavimento de baldosa y piedra, carpintería de madera y cubierta de teja.

Conclusiones

En los casos en los que las construcciones de arquitectura tradicional se encuentran muy transformadas o en los que incluso han llegado a desaparecer, la do-

cumentación histórica nos ofrece la posibilidad de conocer tanto los materiales con los que está ejecutada como la organización espacial de las mismas. No siempre las fuentes documentales responden a nuestras necesidades de investigación y conocimiento. Ya hemos visto de manera general las posibilidades que nos ofrece cada una de ellas, para el siglo XVI podemos conocer bien los materiales y las técnicas constructivas pero pocos datos sobre la distribución espacial. En cambio en el siglo XVIII por el contrario tenemos datos acerca de las piezas de las viviendas y el tamaño y la existencia de planta alta o únicamente planta baja, pero poca información sobre los materiales empleados. A pesar de la ausencia de algunos datos esenciales, conocemos por los restos conservados que tanto materiales como técnicas constructivas se mantuvieron prácticamente invariables a lo largo de los siglos. Y ya llegados al siglo XX la documentación es mucho más descriptiva en todos los aspectos, aunque no siempre se ha conservado en su totalidad. De cualquier manera la documentación se convierte en un recurso imprescindible para el conocimiento y la documentación de materiales, técnicas y en definitiva la propia arquitectura tradicional.

Notas

1. Sería muy prolijo enumerar la totalidad de estudios que se han dedicado a lo largo de los años a esta fuente documental. Destacamos algunos de ellos para ver la variedad de estudios a los que ha dado lugar y también aquellos otros que se han aproximado a conocer la vivienda rural del siglo XVI teniendo como base a las Relaciones: (Arroyo Ilera1998); (López Gómez 1997) o (López Gómez, A. y López Gómez, J. 1989).
2. (López Gómez, A. y López Gómez, J. 1989), (López Gómez, A. y López Gómez, J. 1990), (López Gómez, A. y López Gómez, J. 1992).
3. Alcolea de Calatrava, Torralba de Calatrava, Torre de Juan Abad, Villanueva de los Infantes, Villarrubia de los Ojos.
4. Arenas de San Juan, Bolaños de Calatrava, Daimiel, Manzanares, Miguelturra, Socuéllamos, Torralba de Calatrava, Villarrubia de los Ojos.
5. Argamasilla de Alba, Alhambra, Ballesteros de Calatrava, Cañada de Calatrava, Caracuel de Calatrava, Corral de Calatrava, Santa Cruz de Mudela, Villarta de San Juan, Malagón, Daimiel.
6. Alcubillas, Bolaños, Campo de Criptana, Cózar, Herencia, Membrilla, Torrenueva. La denominación de tierra tapiada aparece en Pozuelo de Calatrava y Socuéllamos.
7. Cenón de Somodevilla y Bengoechea, I Marqués de la Ensenada, nace en 1702 en Hervías (La Rioja), de familia humilde de origen hidalgo. Será una importante figura dentro del panorama político de la época, renovador de la Marina y ministro de Hacienda de Felipe V. Será llamado por el monarca para ejercer de secretario de Estado y del despacho universal de Hacienda. Su principal preocupación es sanear la hacienda pública. Quiere sustituir las complicadas e injustas rentas provinciales por una sola contribución llamada Real, Catastro o Capitación para "que pague cada vasallo a proporción de lo que tiene, siendo fiscal uno de otro para que no se haga injusticia ni gracia". Para ello propone catastrar las Castillas, a cuenta del Erario Real. Las ideas de reforma de Ensenada no eran nuevas, estaban en el ambiente desde hacía un siglo, tanto en Francia o en Italia, como en España. Tan importante reforma, fruto de la cual disfrutamos hoy de una magna documentación, tenemos que decir que finalmente no se llevó a cabo. La caída de Ensenada se atribuye al complicado juego de equilibrios entre Francia e Inglaterra y a su reflejo en la política nacional, en la que Ensenada era un admirador y claro partidario de Francia. En http://pares.mcu.es/Catastro/servlets/ServletController?accion=2&opcion=44 versión en línea, [consulta: 11-02-2018].
8. Respuestas Generales, Interrogatorio que han de satisfacer, bajo juramento, las justicias, y demás personas, que harán comparecer los intendentes en cada pueblo, [en línea], <http://www.eurocadastre.org/pdf/f>. [Consulta: 11-02-2018].
9. Ibídem.
10. Catastro de Ensenada, Campo de Criptana, Memoriales de legos o seglares, vol. 403, s/f. [en línea], https://familysearch.org/pal:/MM9.3.1/TH-266-12348-209733-56?cc=1851392&wc=MDN3-Q38:166169201,166396701,166410101[consulta 04-11-18].
11. Catastro de Ensenada, Campo de Criptana, Memoriales de legos o seglares, vol. 403, s/f. [en línea], https://familysearch.org/pal:/MM9.3.1/TH-266-12348-209733-56?cc=1851392&wc=MDN3-Q38:166169201,166396701,166410101[consulta 04-11-18].
12. Según el diccionario de Autoridades (1739), define sala como «La pieza principal de la casa, ò quarto donde se vive, y donde se reciben las visitas de cumplimiento, ò se tratan los negocios. Díxose Sala, porque se sale à ella de otros quartos secretos, ù de la voz Hebréa *Sala*, que vale *Quiescere*, ò de *Salio*, segun Covarr. porque en ella se salta y bálla. […]".
13. Un ejemplo lo tenemos en esta vivienda: «su frente cuarenta y cuatro, fondo veinte y nueve. Cuartos dobles, cuadrada, salas, dormitorios, los altos cámaras, cocina, bodega, jaraíz, portales, caballerizas y pajares.

Valuado su alquiler en veinte y cuatro ducados», *AHPCR,* Sec. H., leg. H-680, asiento 246. Barranco de Santa María.

14. Se trataba de un proyecto muy ambicioso puesto que pretendía distribuir un reparto equitativo de la carga tributaria, así como tener un mejor conocimiento del territorio y que existiera una coordinación con el Registro de la Propiedad).
15. Documento legalmente aprobado en el que se relacionan, habiendo sido aprobados y evaluados, todos los edificios y solares de cada término municipal, según se establece en el Reglamento de 24 de enero de 1984.
16. Según el diccionario de autoridades del año 1936, una de las acepciones de la palabra principal es la siguiente: «dícese de la habitación o cuarto que en los edificios se halla sobre el piso bajo o sobre el entresuelo cuando lo hay».
17. AHPCR, Sec. Hacienda, leg. H-4800, expediente casa en c/ Toledo, 25, s/f.
18. Ibídem.
19. AHPCR, Sec. Hacienda, leg. H-4812, expediente casa en c/ de las Heras nº5, s/f.
20. AHPCR, Sec. Hacienda, leg. H-4812, expediente casa en c/ de las Heras nº5, s/f.
21. AHPCR, Sec. Hacienda, leg. H-4703, expediente casa en c/ Canilejo s/n s/f.
22. AHPCR, Sec. Hacienda, leg. H-4708, expediente casa en c/ del Obispo nº25, s/f.

Lista de referencias

Arroyo Ilera, F. 1998. «Las relaciones geográficas y el conocimiento del territorio en tiempos de Felipe II», *Estudios geográficos*, 59, 231. pp. 169-200.

Campos y Fernández De Sevilla, F. J. 2009. *Los pueblos de Ciudad Real en las «Relaciones Topográficas» de Felipe II*, 2 vol. Ciudad Real, Diputación Provincial.

López Gómez, A. y López Gómez, J. 1989. «La vivienda rural madrileña en el siglo XVI según las "Relaciones Topográficas de Felipe II"», *Estudios geográficos*, 50, 197. pp. 578-598

López Gómez, A. 1997. «La vivienda rural en Guadalajara en el siglo XVI según las "Relaciones Topográficas de Felipe II"», *Estudios geográficos*, 58, 229, pp. 643-666.

López Gómez, A. y López Gómez, J. (1990): «La casa rural en Ciudad Real en el siglo XVI según las "Relaciones Topográficas de Felipe II"», en *Estudios geográficos*, 51, 199. pp. 219-240.

López Gómez, A. y López Gómez, J. 1992. «La vivienda rural toledana en el siglo XVI según las "Relaciones topográficas de Felipe II"», en *Boletín de la Real Academia de la Historia*, 189, 1. pp. 1-22.

Soluzioni e dettagli costruttivi nel *Succorpo* del duomo di Napoli

Maria Teresa Como

Il così detto *Succorpo*o cappella Carafa è una cappella in forma di cripta fabbricataa cavallo tra Quattrocento e Cinquecento sotto l'abside del duomo di Napoli di fondazione angioina. L'opera fu realizzata dal cardinale e arcivescovo di Napoli[1] Oliviero Carafa (1430-1511) allo scopo di accogliere i resti del corpo di San Gennaro, santo patrono della città, che Oliviero era riuscito a riportare a Napoli dopo il rinvenimento nell'abbazia di Montevergine.[2]

L'inserimento della cappella avvenne ricavando lo spazio nella superficie interna dell'abside tra le murature di fondazione,e realizzando un impalcato orizzontale nell'area absidale della chiesa,sostenuto dalle murature perimetrali e da due file di cinque colonne. L'azione tecnica,eseguita per custodire e venerare al di sotto dell'altare principale della cattedrale le reliquie del santo, confessore della fede, per farne una *confessio*, è all'origine della volgare denominazione di *Succorpo*, come «Giuso in cuorpo»[3] o *in corpore ecclesia*, della cappella, e che rimanda insieme, nel senso comune, anche al corpo del santo.[4]

Completata la complessa operazione tecnica, l'architettura della cappella visibile alla fruizione fusolo la superficie interna dello spazio, interamente in marmo lavorato in modo mirabile per ricchezza e qualità dei decori scultorei.

La preziosità dei decori scultorei della cappella, tra le poche del primo Rinascimento interamente rivestita in marmo,[5] e che ne fanno una delle opere più rappresentative della scultura napoletana del primo Rinascimento (Muñoz 1909), è dalla sua costruzione l'aspetto più celebrato, tanto da far ripetere alle fonti coeve, e nelle descrizioni storiche,l'ingente spesa,[6] e il nome del capomastro scultore, di origini lombarde, Tommaso Malvito da Como,[7] e di contro, invece, dimenticare tanto il nome dell'architetto quanto le azioni concrete messe in atto per la sua costruzione, particolarmente delicate e complesse,e la relativa struttura, nascosta alla visione diretta.[8] La mancanza di un artefice architetto e l'alta qualità dell'opera negli aspetti sia decorativi che architettonici rendono la cappella una delle opere più controverse dell'architettura del Rinascimento napoletano.

Le rimarchevoli soluzioni tecniche costruttive adottate, che si accordano con la qualità dell'architettura, vennero sottolineate per la prima volta da Roberto Di Stefano (1972) che durante i restauri del duomo, da lui diretti tra il 1967 e il 1973 (Di Stefano 1975), potette ispezionare l'intercapedine all'estradosso del cassetto nato marmoreo e rilevare la struttura costruttiva dell'impalcato orizzontale.

Alle lucide osservazioni sugli aspetti costruttivi del *Succorpo* del Di Stefano non ha fatto però seguito un inquadramento nella storia della costruzione delle peculiari soluzioni tecniche adottate e, anche,un'analisi materiale dell'esistente, per chiarire,intrecciandogli aspetti tecnico costruttivi con quelli storico artistici, le azioni concrete messe in atto per la sua costruzione. Ancora,infatti,vi è confusione nel tentativo di definire l'effettivo intervento costruttivo del *Succorpo* nel corpo murario della cattedrale.



Figura 1
Vista dalla navata destra (fotografia dell'autrice)

Attraverso la raccolta dei dati documentali e materiali lo studio legge la consistenza dell'intervento costruttivo del *Succorpo* e fa luce su alcuni aspetti singolari della struttura, che segnano sviluppi e nodi interessanti nella storia della costruzione.



Figura 2
Vista dei contrafforti absidali di restauro (fotografia dell'autrice)

Il restauro dell'abside del duomo per la costruzione del Succorpo

La costruzione del *Succorpo* segue gli ingenti interventi di consolidamento della cattedrale angioina a seguito del terremoto del 1456.[9] L'entità dei danni, insieme alla precaria condizione politica che seguì la morte di Alfonso V d'Aragona per la successione al trono di Napoli, rallentarono l'esecuzione dei lavori che avvenne per tappe. La prima fase consistette nel rinforzo del corpo longitudinale della chiesa e del transetto con contrafforti esterni in tufo e piperno cinti in testa da arcate. Gli stemmi in marmo nei contrafforti testimoniano il sostegno economico dei gruppi di potere e delle istituzioni, con gli stemmi delle famiglie nobili nei pilastri di cinta delle navate laterali,[10] e gli stemmi accostati di papa Paolo II, di re Ferrante d'Aragona e dell'arcivescovo Oliviero Carafa, sul contrafforte poligonale del transetto destro, in adiacenza alla porta laterale, e sull'architrave del portale principale del duomo,[11] datano la riparazione ante1471, anno della morte di Paolo II.

Solo in una seconda fase si intervenne al consolidamento dell'abside. All'esterno, ai vertici dell'abside poligonale, tra le due torri scalari, si disposero quattro alti e profondi pilastri di sezione rettangolare,in muratura di tufo e piperno ai cantonali, in funzione di contrafforti, collegati in testa da arcate a tutto sesto di analoga fattura.[12]

L'insieme fu chiuso in cima da archi, in conci di piperno e muratura di tufo, su mensole in piperno, disposti sulle murature laterali e frontale dell'abside, a formare una cintura ad anello. Da qui la costruzione di una nuova cupola chiuse il rinforzo del corpo absidale,nel 1484, anno in cui Oliviero Carafa lasciò la funzione di arcivescovo di Napoli al fratello Alessandro.[13]

La datazione mostra il prolungarsi nel tempo del restauro aragonese e, poiché successiva al ritrovamento dei resti del corpo del santo,[14] che il consolidamento dell'abside aveva già in programma di ricavare una cripta absidale per riporre le ossa del santo,anticipando la definizione del progetto architettonico –strutturale della cripta rispetto alla data del 1497 di avvio del

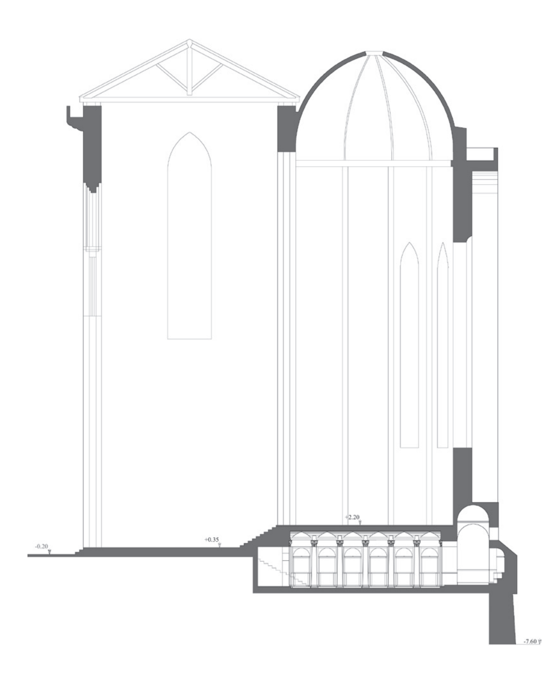


Figura 3
Sezione longitudinale della configurazione originaria (elaborazione dell'autrice)

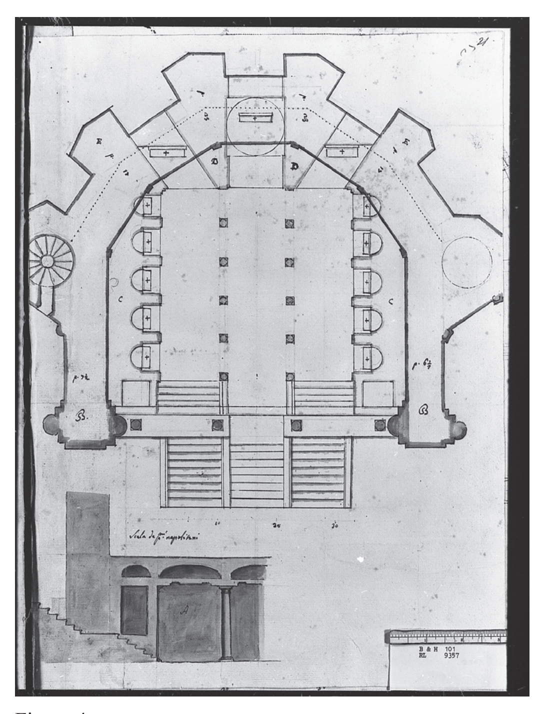


Figura 4
Rilievo del Succorpo. Pianta e stralcio della sezione longitudinale (Windsor Castle, Royal Library, vol.170, fol. 21)

cantiere indicata dalle cronache coeve.[15] Anche l'estendersi dei contrafforti verso il basso, fino a 7.60 metri al disotto dell'aula della chiesa e a 4.70 da quella del *Succorpo*,[16] e la forma a scarpa del piede dell'abside rinforzato, legano il restauro aragonese dell'abside e il *Succorpo* nella predisposizione di un solido piano a quota opportuna. Si evince pertanto che l'architettura del *Succorpo*, come forma e tecnica, è tutt'uno con la nuova configurazione dell'abside rinnovata, che sarebbe stata ricongiunta alla chiesa con il completamento del restauro aragonese.

Per leggere la struttura architettonica del *Succorpo* retrostante il prezioso rivestimento, è necessario analizzare l'insieme di Presbiterio, sul piano dell'abside, e fronte di accesso al *Succorpo* della configurazione originaria, così come doveva osservarsi lungo l'asse longitudinale della chiesa prima del restauro del 1741.[17] A tal fine di particolare importanza è un disegno di rilievo di fine Seicento del complesso dell'abside e del *Succorpo*, che era associato ad un progetto non realizzato di riconfigurazione delle pareti interne dell'abside, attribuito a Carlo Fontana.[18]

Il rilievo, unica rappresentazione esistente dello stato dei luoghi anteriore al restauro del 1741, è di estremo interesse perché descrive la struttura del complesso abside e *Succorpo* ai fini della fattibilità del progetto. Il rilievo rappresenta le due piante sovrapposte, alla quota dell'abside e alla quota del *Succorpo*, al fine di indicare la muratura perimetrale e la corrispondenza planimetrica del profilo alle due quote.[19] Possono leggersi gli allineamenti, i tratti in cui incidono i vani delle cappelle absidali, e il profilo esterno della muratura absidale senza i contrafforti esterni del restauro aragonese. La pianta è accompagnata dallo stralcio di una schematica sezione longitudinale, che esplicita il rapporto tra i due piani ed il sistema strutturale dell'impalcato tra le due quote, nell'insieme di voltine e cassetto nato puntellato dalle colonne.

Il disegno di rilievo aggiunge informazioni rilevanti per descrivere l'architettura della cappella del *Succorpo* e il suo inserimento nell'abside rinforzato della cattedrale.

La struttura architettonica della cappella

Dalla raccolta e elaborazione dei dati documentali e materici discende la descrizione architettonica riportata di seguito e rappresentata nei disegni architettonici in figura.

Sistemato con il consolidamento aragonese dell'abside un solido zoccolo al corpo absidale a quota opportuna, su questo si dispose la cripta. La forma dell'invaso, un rettangolo di proporzioni 4: 3, 48 x 36 palmi napoletani (12.66 x 9.5 m), e altezza interna di 15 (3.95 m),[20] è ottenuta accrescendo verso l'interno le pareti longitudinali e la parete terminale, con l'innesto di murature trasversali a formare un sistema interno di contrafforti. Sulle pareti longitudinali le murature trasversali generano le nicchie laterali, esegnanoi luoghi delle 5 paraste in asse con le colonne e delle metà paraste agli angoli dell'invaso.

Il completo rivestimento in lastre di marmo bianco finemente lavorate delle murature in tufo, come una preziosa corazza, impagina le pareti laterali in un ordine architettonico di paraste sovrapposto a pilastri su piedistallo trabeati, inquadrante le nicchie ad esedra, anch'esse integralmente rivestite in marmo.



Figura 6
Nicchia laterale sinistra ((fotografia dell'autrice)

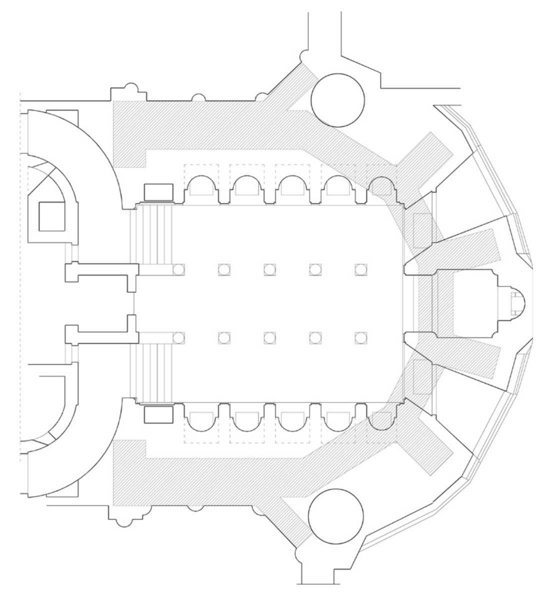


Figura 5
Pianta del *Succorpo*con il profilo delle murature dell'absideei contrafforti del restauro aragonese (elaborazione dell'autrice)

La parete terminale è un fronte rettilineo in tre campate aperte su tre cappelle absidali, che si insinuano negli spazi inclinati tra i contrafforti del consolidamento aragonese, e portano luce all'interno. Le cappelle sono ottenute prolungando le murature dei contrafforti verso l'interno, fino a raggiungere le 4 paraste del fronte rettilineo, due centrali sull'asse delle colonne e due metà agli angoli, in continuità con le metà longitudinali. Nelle cappelle laterali i prolungamenti verso l'interno seguono la direttrice inclinata dei contrafforti,mentre nella campata centrale sono sagomati ortogonalmente al fronte, e tra i contrafforti è ricavata una cappellina quadrata voltata a cupola su pennacchi sull'asse centrale del *Succorpo*.

Come le pareti laterali, le murature in tufo delle cappelle absidali sono totalmente rivestite da lastre di marmo lavorate, che seguono le forme complesse degli archi sghembi delle cappelle laterali, degli angoli acuti e ottusi generati alle intersezioni delle modanature, e delle superfici concave dei pennacchi e dell'intradosso della cupola nella cappella centrale.



Figura 7
Vista del fronte terminale dalla porta di ingresso sinistra (fotografia dell'autrice)



Figura 8
Cappella absidale sinistra (fotografia dell'autrice)

Il fronte opposto del *Succorpo*, prima del restauro del 1741,[21] era aperto verso la chiesa da due porte disposte sugli assi delle navate laterali, e componemvail frontem monumentale e il basamento del Presbiterio. Esso raccoglieva ortogonalmente tre rampe di scale parallele, di eguale lunghezza e ampie quanto le navate del *Succorpo*, che collegavano il piano pavimentale del duomo con i due piani sovrapposti di *Succorpo* e Presbiterio. Le rampe laterali scendevano in 14 gradini a un pianerottolo intermedio su cui si aprivano, come oggi, le due porte con ante in bronzo. Superiormente un fregio riportava le epigrafi dedicatorie del *Succorpo*, componimenti dell'umanista Pietro Gravina;[22] varcate le porte l'ultimo tratto della rampa, ancora esistente, in sei gradinis barcava nella prima campata alla quota del *Succorpo*.[23]

L'invaso è scandito in tre navate da due file di cinque colonne monolitiche,di riuso in marmo cipollino,di ordine composito, nella successione di sei campate rettangolari, di 8 x 12 palmi (2.11 x 3.16 m) sugli interassi, infilate secondo l'asse minore. Le colonne

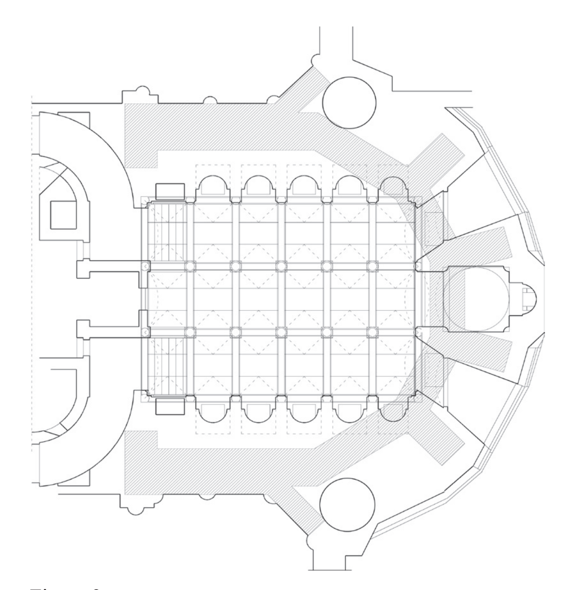


Figura 9
Pianta del *Succorpo* con la carpenteria dell'impalcato orizzontale (elaborazione dell'autrice)

collaborano al sostegno dell'impalcato orizzontale tra *Succorpo* e Presbiterio, che si compone di un doppio sistema integrato: un cassetto nato in marmo finemente lavorato in travi e lastre monolitiche visibile all'intradosso dalla cappella e, al di sopra, un sistema di volti ne in muratura di tufo ad estradosso orizzontale, nascosto alla vista.

Dettagli costruttivi, riflessioni e riferimenti

Il cassetto nato lapideo dell'impalcato orizzontale è un formato da una griglia di travi monolitiche in marmo, poggianti sulle teste delle colonne, e delle paraste al perimetro della cappella. Le travi, disposte sugli assi delle campate, e poggianti sugli abachi dei capitelli di colonne e paraste al perimetro della cappella, di altezza 37 cm, hanno sezione a T rovescia per l'appoggio delle lastre (Solito 2001: 91).

Sulle travi trasversali della cappella,di interasse minore,poggiano tre lastre rettangolari monolitiche di marmo lavorato per ogni campata, una maggiore al centro e due minori ai lati, ordite secondo l'asse longitudinale della cappella.

Superiormente, un sistema di volti ne in muratura dall'estradosso orizzontale compone la parte superiore dell'impalcato. Le voltine si impostano sulle teste delle travi in appoggio su colonne e paraste. L'area di appoggio corrisponde all'incirca alla superficie estradossale dell'abaco sui capitelli, cosicché le voltine bloccano le teste delle travi in appoggio su colonne e paraste e anche gli angoli delle due lastre minori, in prossimità dei sostegni verticali, in appoggio sia sulle travi longitudinali che trasversali.[24]Pertanto la realizzazione delle voltine segue la messa in opera delle travi e delle lastre laterali minori del cassetto nato.



Figura 10
Dettaglio del cassettonato (fotografia dell'autrice)

All'intradosso le voltine compongono, secondo l'asse longitudinale della cappella, tre campi affiancati di volte a botte unghiati in corrispondenza degli assi trasversali sulle colonne, in modo da formare degli archi tra gli intercolumni laterali. La geometria è analoga a tre campi affiancati di volte ribassate a lunette,[25]e tale da trasferire al perimetro spinte e carichi in corrispondenza delle paraste che mascherano le teste delle murature trasversali di rinforzo della muratura perimetrale dell'abside. Le voltine sono realizzate in getto di pietrame di tufo e malta idraulica di pozzolana, e formano un masso modellato all'intradosso e orizzontale all'estradosso.[26] Centine e manto per il getto dovettero appoggiarsi sulle travi. Per la loro movimentazione (collocazione, disarmo e smontaggio) si ipotizza che la lastra centrale del cassetto nato sia stata messa in opera solo al termine della realizzazione delle volte.[27] La superficie corrugata intradossale delle voltine fa supporre la disposizione di un letto di paglia sul manto disposto sulle centine.

La soluzione tecnica del sistema composto dell'impalcato in cassetto nato in elementi monolitici e voltine in muratura è una peculiare trasposizione tridimensionale del sistema strutturale di architrave monolitica e arco di scarico superiore. Essa ha lo scopo di limitare il carico gravante sugli architravi lapidei, per salvaguardarne l'integrità, e distribuire adeguatamente sulle pareti perimetrali dell'abside opportunamente rinforzate, e sulle colonne, il peso dell'impalcato in spinte e carico verticale.

La ricerca di espedienti per evitare la fessurazione degli architravi lapidei, fragili alla flessione, si manifesta nel Rinascimento con la reintroduzione dell'ordine classico tra beato, ed è evidente nelle sperimentazioni del primo Rinascimento, promosse dalle riflessioni di Alberti, e dallo studio di piatta bande e sistemi di architravi e archi di scarico dell'architettura antica.[28]

Poiché, come riferisce Vasari, Vitruvio pur indicando la questione,non suggerisce espedienti,[29]le soluzioni tecniche del primo Rinascimento hanno il carattere di nuove sperimentazioni, come quella dell'impalcato del *Succorpo*. A questo riguardo è molto interessante che Cesariano, nella traduzione in

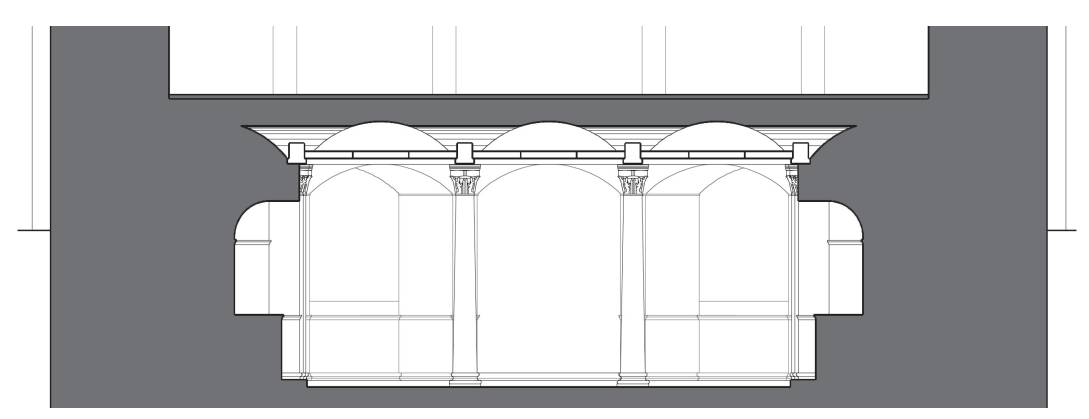


Figura 11
Sezione trasversale del *Succorpo* (elaborazione dell'autrice)

italiano figurata del *De Architettura* di Vitruvio aggiunga delle proprie indicazioni.[30]Alle disposizioni degli intercolumni dei templi,la figura allegata agli intercolumni *areostilo* e *diastilo*, con l'arco di scarico al di sopra dell'architrave, rappresenta, come aggiunta del traduttore, la soluzione alla problematica degli epistili di grande luceche si spezzavano.[31]

La peculiare sperimentazione di volta di scarico al cassettonatolapideo del *Succorpo* è ottenuta con materiali poveri e di poco onerosa lavorazione, per la facilità a murare in tufo e malta idraulica di pozzolana, garantendo la coesione tra pietrame e alti letti di malta grazie alle proprietà idrauliche della malta, nei modi di un *opus caementicium*,[32] e la modellazione dell'ammasso,in forma opportuna a trasferire spinte e carichi a murature trasfersali e contrafforti di rinforzo dell'abside, che chiudono la macchina strutturale.

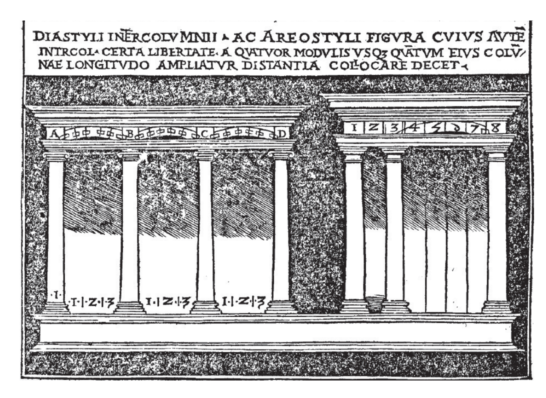


Figura 12
Intercolumni *areostilo* e *diastilo* (Cesariano 1521: III, LV, fig.1.)

Allo stesso tempo la spinta al perimetro dell'ampia volta ribassata in voltine è ridotta dai sostegni verticali delle colonne che la puntellano, e forniscono un solido appoggio al piano del Presbiterio. Pertanto, il sistema trilitico esteso spazialmente, di colonne, paraste e cassetto nato, si intreccia con la struttura muraria retrostante nel comportamento strutturale.

La funzione strutturale dei decori scultorei di nicchie e cappelle è invece di solo rivestimento, come una pelle preziosa. Qui però il valore delle lastre di marmo lavorate non è solo nella raffinatezza dei decori, ma anche nella complessità di tracciamento e taglio dei dettagli architettonici delle lastre a rivestimento delle pareti oblique. Cornici in obliquo e variazioni delle inclinazioni delle commessure negli imbotti e intradossi obliqui delle cappelle laterali di complessa geometria, rivelano una profonda cultura stereotomica, che qui non è applicata alla costruzione in conci, ma solo al rivestimento.

La lettura del *Succorpo* nella sua consistenza strutturale e l'osservazione dei dettagli costruttivi forniscono nuovi elementi nella storia della costruzione, che potranno guidare, con un più esteso confronto con sperimentazioni coeve,a cogliere ambiti e influenze, e a costruire una cronologia di parti ed elementi della costruzione.

Notas

1. Oliviero Carafa fu arcivescovo di Napoli dal 1458 al 1484, anno in cui trasferì la carica al fratello Alessandro; la riassunse alla morte di questi, dal 1503 al 1505.
2. Nell'assedio della città di Napoli del 831 i resti del santo erano stati trafugati dal longobardo Sicone principe di Benevento e lì condotti. Con il trattato di Benevento del 1156, Guglielmo I il Normanno li aveva poi traslati nell'abbazia benedettina di Montevergine. Nel 1480, negli anni in cui il giovane cardinale Giovanni d'Aragona (1456-85), fratello del re Ferrante, era commendatario dell'abbazia, durante alcuni lavori sotto l'altare maggiore della chiesa fu rinvenuta la cassa con i resti del santo. Dopo svariati tentativi solo nel 1497 Oliviero Carafa riuscì ad ottenere dal papa Alessandro VI autorizzazione a traslarli nella cattedrale di Napoli.
3. Espressione di de Stefano (1560: 8) che significa chiuso in corpo.
4. Già le fonti antiche si soffermano sull'origine del nome e descrivono la cappella come una confessio, particolarmente esteso e puntuale è Caracciolo (1645: 271).
5. Leone de Castris 2010: 112, nota 5.
6. Già la cronaca manoscritta degli avvenimenti locali di Giuliano Passero (1785), vissuto nel primo Cinquecento, pubblicata a fine Settecento, riferisce la grossa cifra di 15 ducati sostenuta dal cardinale Oliviero Carafa per la costruzione della cappella.
7. L'indicazione del capomastro scultore è già nel poemetto manoscritto del frate Bernardino Siculo, datato 1503-5, che ne celebrava l'inaugurazione (vedi nota 22) ed è riferita nella lettera del 1524 dell'umanista Pietro Summonte (1524) al colto collezionista veneziano Marcantonio Michiel, fonte importante dell'arte napoletana del Rinascimento, e compare ripetutamente nelle fonti locali.
8. L'unica indicazione coeva che distingue le due figure dello scultore e dell'architetto è nel sonetto del poeta Cariteo scritto in lode a Oliviero Carafa del 1509, che descrive la cappella quale «immortal sacrario / d'un bianco marmo pario. / Rara magnificentia a nostra etade, / rara anchor caritade: / Casa d'oration sacrata, & degna / di nobile architetto & man benegna» (Percopo 1892: 252-257).
9. Strazzullo 1991: 7-11.
10. «perché essendo per lo terremoto caduta la Chiesa il Re pigliò a riedificarne una parte, e tanti signori grandissimi […] pigliaro a rifarne un Pilastro per uno, collocandoci l'insegne proprie, che hoggi si vedeno» (Terminio 1631: 30). Anche D'Engenio Caracciolo (1623: 5).
11. Minichini 1881.
12. L'analisi cronotipologica delle murature data i contrafforti a interventi di rinforzo post terremoto 1456 (Guerriero e Cecere 2008: 118).
13. «[…]Fuit Alexander bonus, ac diligens pastor, Oliverij fratris vestigia secutus. Hic quoque fornicem sive testudinem (quam cupolam vulgus vocat) majoris ecclesiae labentem restituit ac refecit, ut ex inscriptione in marmorea tabula ibi apposita perspicitur hunc in modum. […] Alexander Carrafa Archiepiscopus Neapolitanus fecit 1484. […]» (Chioccarelli 1643: 312). Anche D'Engenio Caracciolo 1623: 5.
14. Le spoglie furno rinvenute nel 1480 (vedi nota 2).
15. Passero 1785: 117-118.
16. Come dai rilievi in Di Stefano (1975: figg. 161, 167-169). Confrontando poi lo stato dei luoghi con i caratteri morfologici originari dell'area, in declivio in direzione nord-sud, si legge l'abbassamento della quota di spiccato intorno all'abside del duomo da cui si evince l'approfondimento dello scavo intorno all'abside per opere di sottofondazione.
17. Il restauro del 1741 realizzò una nuova scenografia architettonica all'abside del duomo, che era stato nuovamente compromesso dal terremoto del 1732. Con esso il fronte monumentale del Succorpo che fungeva da basamento del Presbiterio fu soppresso e demolita la cupola absidale (Di Stefano 1975: 33-34; Strazzullo 1991: 117-138; Castanò 2003).
18. Braham A. e Hager H. (1977: 70-74). Sulla ricostruzione del progetto di restauro di Carlo Fontana vedi Russo 2017.
19. Anche nella pianta del *Succorpo* in Di Stefano (1975: fig.166) vi è indicazione dell'area di incidenza delle murature perimetrali. Le piante e sezioni allegate al contributo raccolgono i dati dei diversi rilievi e sono state elaborate in supporto alla descrizione della struttura del *Succorpo*.
20. La misura in palmi napoletani è riportata, alla strofa CL, del componimento di Bernardino Siculo della vita di San Gennaro, composto durante la realizzazione del Succorpo, nel 1503 con aggiunte nel 1505 (Campaglia 2008: 108-113). Diverse descrizioni della cappella nelle guide storiche riportano i dati di misura della cappella; la più completa è in Caracciolo (1645: 270-271), trascritta in Leone de Castris (2010: 113-114). Dal 1480 al 1840 il palmo lineare napoletano è di 26.367 cm (Visconti 1838: 6).
21. Un doppia rampa ellettica e l'avanzamento nel transetto del piano del Presbiterio hanno sostituito il fronte originario nella riconfigurazione dell'abside del duomo nel 1741 (Castanò 2003).
22. Umanista dell'Accademia Pontaniana, fu nominato canonico del duomo di Napoli nel 1503 dal capitano e viceré Consalvo de Córdoba; quando questi ritornò in Spagna nel 1507 si trasferì come famiglio in casa di Prospero Colonna; trascorse alcuni periodi nella villa dei Colonna a Genazzano, luogo del ninfeo attribuito a Donato Bramante.

23. La descrizione dell'accesso è in Celano (1692: cc. 89-91). La trascrizione delle epigrafi sulle due porte dei componimenti di Pietro Gravina, oggi non più esistenti, con la datazione 1506 sulla porta sinistra, sono in D'Engenio Caracciolo (1632: 6).
24. La descrizione discende dalla documentazione fotografica e dalle analisi della struttura con l'ultimo restauro del 2000 (Solito 2001: 84).
25. Similitudini si colgono con le volte, su due file di colonne e peducci, delle Cavallerizze del castello di Vigevano (Gremmo 1988: 151); la costruzione della scuderia di Gian Galeazzo Sforza fu avviata nel 1490. Un singolo campo è simile anche alla volta a lunette in getto del portico del palazzo della Commenda dell'abbazia di Grottaferrata, realizzata ante 1492 da Baccio Pontelli (Pagliara 1989).
26. Non è possibile accedere all'intercapedine tra cassettonato e voltine. La descrizione discende dalla scarna documentazione fotografica in letteratura (Di Stefano 1975: fg.165; Solito 2001: figg. 50, 67, 83).
27. Il recente restauro del cassettonato all'estradosso è stato effettuato con la movimentazione della sola lastra centrale.
28. Pagliara 2007; 2012.
29. Belli 2012.
30. Gargiani 2003: 386.
31. Cesariano 1521: III, LV, fig.1.
32. Lazio meridionale e Campania offrono il connubio della pietra di tufo e della pozzolana, elementi primari per il confezionamento dell'opus caementicium nella tradizione antico romana, da cui anche la continuità di tradizione costruttiva (Pagliara 1998).

Lista de referencias

Belli, G. 2012. Les architraves de Vasari dans les Uffizi à Florence. In *L'architrave, le plancher, la plate-forme. Nouvelle histoire de la construction*, a cura di Gargiani. Losanna: Presses polytechniques et universitaries romandes.

Braham A. e Hager H. 1977. *Carlo Fontana. The Drawings at Windsor Castle*. London.

Caracciolo A. 1645. *De sacris ecclesiae Neapolitanae monumentis liber singularis*. Napoli: Ottavio Beltrano.

Castanò, F. 2003. Gli interventi di Paolo Posi e Filippo Buonocore nella chiesa cattedrale di Napoli. In Napoli – Spagna. Architettura e città nel XVIII secolo, a cura di A. Gambardella, 191-200. Napoli: Edizioni scientifiche italiane.

Celano C. 1691. *Notitie del bello, dell'antico e del curioso della città di Napoli. Giornata prima*. Napoli. Trascrizione a cura di M. L. Ricci et. Al dagli esemplari della Biblioteca Nazionale Vittorio Emanuele III (Rari Brancacciani F.109) e della Biblioteca del Conservatorio di San Pietro a Majella di Napoli (Libri SC.5.3). Napoli 2009.

Cesariano C. 1521. *Di Lucio Vitruvio Pollione De Architectura libri dece* …Como: Da Ponte.

Chioccarello, B. 1643. *Antistitum praeclarissimae Neapolitanae Ecclesiae Catalogus, ab Apostolorum temporibus ad hanc usqae nostram aetatem, et ad annum 1643*. Napoli: Petri Agnelli Porrini.

Ciampaglia, N. 2008. La vita di S. Gennaro di fra Bernardino Siculo alias Bernardino de Renda de Pactis siciliano. *Contributi di Filologia dell'Italia Mediana* 22: 77-158.

D'Engenio Caracciolo C. 1623. *Napoli Sacra*. Napoli: Ottavio Beltrano.

De Stefano, P. 1560. *Descrittione dei luoghi sacri della citta di Napoli*. Napoli: Raymondo Amato.

Di Stefano, R. 1975. *La cattedrale di Napoli. Storia, restauro, scoperte, ritrovamenti*. Napoli: Editoriale Scientifica.

Di Stefano, R. 1972. Tommaso Malvito architetto: struttura e forma nel Succorpo di Napoli. In *Scritti in onore di Roberto Pane*. 272-288. Napoli: Istituto di storia dell'architettura dell'Università.

Filangieri G. 1883-1891. *Documenti per la storia, le arti e le industrie delle province napoletane*. Ristampa anastatica del 2002, voll. I-VI. Napoli: Società napoletana di storia patria.

Gargiani, R. 2003. *Principi e costruzione dell'architettura italiana del Quattrocento*. Roma-Bari: Laterza.

Gremmo, L. 1988. Il Castello di Vigevano alla fine del secolo XV: Osservazioni emerse dai restauri in corso. *Arte Lombarda. Bramante a Milano* 86-87:146-159.

Guerriero L. e Cecere G. 2008. Strutture in tufo giallo e in tufo grigio a napoli e in Terra di Lavoro. In *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali. Napoli, Terra di Lavoro (XVI-XIX)*, (a cura di) Fiengo G. e Guerriero L. vol 1, 117-260.

Leone de Castris, P. 2010. Il Succorpo del duomo di Napoli. In Id. *Studi su Gian Cristoforo Romano*. 111-140. Napoli: Paparo.

Minichini, B. 1881. *I blasoni monumenti di storia della facciata del duomo di Napoli*. Napoli: De Angelis.

Muñoz, A. 1909. Studii sulla scultura napoletana del Rinascimento (I e II). *Bollettino d'Arte*1-2: 55-73, 3: 83-101.

Pagliara, P.N. 1989. Grottaferrata e Giuliano della Rovere. In *Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura* 13: 19-42.

Pagliara, P.N. 1998. Antico e Medioevo in alcune tecniche costruttive del XV e XVI secolo, in particolare a Roma. *Annali di Architettura* 10-11: 233-260.

Pagliara, P.N. 2007. Costruire a Roma tra Quattrocento e Cinquecento. Note su continuità e innovazioni. In *Storia dell'Architettura come storia delle tecniche costruttive. Esperienze rinascimentali a confronto*, 25-73. Venezia: Marsilio

Pagliara, P.N. 2012. La «reprise» au XVIe siècle des architraves en plusieurs parties à Rome. In *L'architrave, le plancher, la plate-forme. Nouvelle histoire de la construction*, a cura di Gargiani. Losanna: Presses polytechniques et universitaries romandes.

Passaro, G. 1785. *Giuliano Passero cittadino napoletano o sia prima pubblicazione in istampa, che delle Storie in forma di Giornali, le quali sotto nome di questo autore finora erano andate manoscritte* […]. Napoli: Vincenzo Orsino.

Percopo, E. 1892. *Le rime di Benedetto Gareth detto il Chariteo.Parte seconda*. Rime secondol'edizione del 1509. Napoli: Accademia delle Scienze.

Russo, V. 2017. Un restauro irrealizzato. Progetti per l'abside della Cattedrale di Napoli e il contributo di Carlo Fontana. *Carlo Fontana 1638-1714. Celebrato architetto*, a cura di G. Bonaccorso e F. Moschini, 181-187. Roma: Accademia Nazionale di San Luca.

Strazzullo, F. 1991. *Restauri del Duomo di Napoli tra '400 e '800*. Napoli: Edizioni Fondazione Pasquale Corsicato.

Solito, M. 2001. *Duomo di Napoli. Restauro della cripta di San Gennaro*. Bari: Martino Solito restauratore.

Summonte, P. (1524). Lettera a Marcantonio Michiel. In Nicolini, F. 1925. *L'arte napoletana del Rinascimento e la lettera di Pietro Summonte a Marcantonio Michiel*. Napoli: Ricciardi.

Terminio M.A. 1581.*Apologia di tre seggi illustri di Napoli*. Venezia: Domenico Farri.

Visconti F. 1838. *Del sistema metrico della città di Napoli e della uniformità de' pesi e delle misure che meglio si conviene a' reali domini di qua dal faro.* Napoli: Stamperia Reale.

Las compañías constructoras italianas y su aporte a la tecnificación de la arquitectura de Guayaquil, 1922-1943

Florencio Compte Guerrero

Hasta la década de 1920, el tipo de construcción de la ciudad de Guayaquil era artesanal, ya que la industrialización del país era aún incipiente. Apenas se habían desarrollado en la región costera unas pocas fábricas de «… medios de subsistencia de consumo inmediato» (Torres Dávila 2012, 26) como fideos, galletas, chocolates, cerveza, entre otros, mientras en la zona andina se habían establecido pequeñas industrias de tejidos.

Desde la ubicación de la ciudad en su lugar definitivo a mediados del siglo XVI, la edificación era en su totalidad de madera, debido, en parte, a la poca capacidad soportante del terreno y, principalmente, al mantenimiento de la tradición constructiva, la abundante disponibilidad del material y la mano de obra experta de los carpinteros de ribera.

El hecho que Guayaquil estuviera construida en madera determinó que se destruyera varias veces a lo largo de su historia a causa del fuego, lo que posibilitó que, de manera temprana desde inicios del siglo XX, se expandiera el uso del cemento como material de construcción y el hormigón armado como sistema constructivo. La ciudad se convirtió, de esta manera, en la primera del país en hacer uso de esa innovación técnica en su reconstrucción, luego que quedara parcialmente destruida luego del Gran Incendio de octubre de 1896.

Arquitectos y técnicos europeos, sobre todo italianos, empezaron a llegar desde los años veinte y a constituir compañías constructoras que introdujeron la tecnificación y el mejoramiento de los procesos constructivos y modificaron la manera tradicional de edificar al incorporar el cálculo estructural y el uso del hormigón armado.

En 1922 fueron establecidas la Compañía Italiana de Construcciones y la Sociedad General de Construcciones. Ambas tuvieron un origen común en 1921 ya que eran filiales de la *Compagnia Italiana di Edificazione Milano (IDEM)*, y fueron conformadas por el financista italiano Leopoldo Parodi-Delfino quien había constituido la *Compagnia Italiana dell'Equatore (CIE)* con la finalidad de iniciar la explotación minera y petrolera del país, además de actividades bancarias, comerciales y de desarrollo de obra pública.

En la década de 1940 estas compañías ya habían cesado sus actividades y, aunque con lentitud, junto con la recuperación económica y la estabilidad política del país, empezaron a surgir nuevas empresas constructoras con técnicos locales.

Antecedentes

El Gran Incendio del 5 y 6 de octubre de 1896 truncó muchos de los procesos de modernización que se habían iniciado años antes en la ciudad de Guayaquil, por lo que hubo necesidad de repensarlos y de replantear el desarrollo de la ciudad. Casi de manera inmediata se dio inicio a la reconstrucción por parte de la iniciativa privada, que se orientó a dotar de vivienda, de la manera más rápida y económica,

a los miles de damnificados que quedaron, por lo que, en un principio, se continuó con las mismas técnicas constructivas tradicionales y con patrones espaciales y formales que se habían heredado de la Colonia, con viviendas de una o dos plantas con estructura de madera y paredes del mismo material o de paneles de caña guadúa con o sin recubrimiento de mortero.

A la par, poco a poco también fue desarrollándose una nueva industria: la de la construcción, ligada a la temprana incoporación de la tecnología en hormigón armado en 1905, ya que se consideraba que dicho sistema constructivo era más efectivo para evitar la propagación de los incendios. De esta manera Guayaquil fue cambiando su imagen de ciudad colonial edificada en madera por carpinteros de ribera, a una ciudad de cemento y, en el imaginario de la época, moderna.

La llegada de arquitectos y técnicos europeos, sobre todo italianos, y la constitución de compañías constructoras empezaron a modificar la manera tradicional de edificar. Poco a poco los carpinteros fueron sustituidos por maestros de obra y albañiles y los maestros mayores por arquitectos, ingenieros y técnicos especializados en hormigón armado.

De la construcción artesanal a la construcción tecnificada

Desde finales del siglo XIX se había introducido el cemento como material de construcción. La primera edificación de la ciudad que utilizó ese material fue la Cárcel Pública Municipal en 1886, con proyecto del arquitecto genovés Rocco Queirolo Pinasco. Luego del Gran Incendio de 1896 este edificio sufrió graves afectaciones que destruyeron sus pisos y cubierta de madera, por lo que en 1902 se inició su reconstrucción a cargo del ingeniero venezolano Francisco Manrique. Los trabajos, terminados tres años más tarde, convirtieron a la cárcel en la primera y única edificación de la época construida en hormigón armado con el sistema de vigas patentado en 1892 por el francés François Hennebique del que Manrique era su representante en Ecuador.

El incendio del 16 de julio de 1902, que destruyó setecientas casas en veintiséis manzanas, obligó a que las autoridades tomaran medidas para tratar de evitar que se volvieran a producir flagelos de esa magnitud. Bajo esa consideración la Municipalidad de Guayaquil expidió en 1905 la *Ordenanza de Construcción y Ornato* (Álava, Baquerizo y Hagó 1976) que, entre otros aspectos, contemplaba que los planos de los nuevos edificios debían estar firmados por un ingeniero, un arquitecto o un maestro carpintero debidamente registrado y que hubiera obtenido una matrícula municipal (Art. 2).

En 1914 se emitió una nueva ordenanza que regulaba la construcción de edificaciones con cemento. En el artículo 45 se incluía, que los planos debían ser firmados «… por un ingeniero o arquitecto, quien debe vigilar directamente la obra, garantizando así la perfecta estabilidad del edificio» (Gálvez 1930, 49). Al año siguiente se emitió una nueva *Ordenanza de Construcción y Ornato* en la que se establecía que los planos de construcción solo podían ser realizados «… por Ingenieros o Arquitectos, quienes deben garantizar la establidad del edificio» (Art. 41). De esta manera las regulaciones fueron alineándose con la naciente industria de la construcción y con los técnicos especializados que la implementaba.

La construcción en hormigón armado y mampostería trajo consigo una nueva concepción de la estabilidad de la edificación, además de otros aspectos, como cambios en el perfil de la ciudad, al poder levantar edificios de mayores dimensiones y alturas, que en la arquitectura religiosa se pudieran erigir torres más altas, además de cúpulas y, principalmente, una mayor inversión en el sector de la construcción, ya que se consideraba que el cemento minimizaba los riesgos de incendios y podía resistir mejor los sismos.

A partir de 1920 empezaron a arribar a la ciudad arquitectos, ingenieros, escultores y técnicos constructores extranjeros especializados en hormigón armado, principalmente italianos, vinculados a las nacientes empresas constructoras de la época. Entre ellos destacan los nombres de los arquitectos Francesco Maccaferri y Paolo Russo de la Compañía Italiana de Construcciones, Pedro Fontana del Departamento de Construcciones de la Sociedad Bancaria del Chimborazo y Hugo Faggioni de la Sociedad General de Construcciones y de la Sociedad Técnica Fénix. También los ingenieros y técnicos constructores Carlo Bartoli, Giancarlo Bonarda y Mario Gherardi, de la Sociedad General de Construcciones; Arnaldo Rufilli, Giovanni Lignarolo, Rodrigo Perrotta,

Riccardo Winderling, Doménico L´Abatte y Luigi Fratta de la Compañía Italiana de Construcciones, además de Oscar Battaglia, Umberto Caccurri, Bruno Faidutti y de los escultores Enrico Pacciani y Emilio Soro Lenti.

Para comienzos de los **años** treinta la construcción en cemento estaba en pleno auge. El registro de 1932 establecía que había un total de 7264 edificaciones en toda la ciudad, repartidas de la siguiente manera: 4175 de caña, 7 de hierro, 52 de zinc, 2423 de madera, 484 mixtas y 123 de cemento (Hidalgo González 1939), mientras que en el listado de los ingenieros de la ciudad publicado en el año 1936 en el Álbum Gráfico de Guayaquil, en el que indistintamente se incluían ingenieros, arquitectos y constructores, constaban, entre otros, los italianos Paolo Russo, Giovanni Malnati, Enrique Casini, Francesco Maccaferri y Luigi Fratta. A este listado se incorporó poco después el arquitecto húngaro Fernando Schimanetz, quien llegó procedente de Lima para asumir la dirección técnica de la Compañía Italiana de Construcciones.

El aporte italiano a la naciente industria de la construcción

En el registro de la Superintendencia de Compañías de Guayaquil se hacía constar que a partir de 1922 tenían copada la construcción de los nuevos edificios de hormigón armado cinco empresas constructoras, tres de ellas conformadas con capitales y técnicos extranjeros: la Sociedad General de Construcciones, la *J. G.White and Co. Limited* y la Compañía Italiana de Construcciones; y dos con capitales nacionales y la participación tanto de extranjeros como de técnicos ecuatorianos: el Departamento de Construcciones de la Sociedad Bancaria del Chimborazo y la Sociedad Técnica Fénix. Para finales de la década de 1930 habían cesado sus actividades, por diferentes motivos, la Sociedad General de Construcciones, la *J. G.White and Co. Limited* y el Departamento de Construcciones de la Sociedad Bancaria del Chimborazo.

En el recuento de las compañías y oficinas de construcción que se encontraban en actividad en 1933, se registraban exclusivamente la Compañía Italiana de Construcciones y la Sociedad Técnica Fénix, además de los arquitectos Paolo Russo y Francesco Maccaferri y del técnico Luigi Fratta, como constructores independientes (Aliprandi y Martini, 1933).

La Compagnia Italiana dell'Equatore (CIE)

El origen de la constitución de las compañías constructoras italianas en Guayaquil se remonta al año 1920, cuando el Parlamento italiano aprobó la creación de la *Compagnia Italiana dell'Equatore* (CIE) con el fin de establecer «… un banco de desarrollo, una empresa tabacalera, una hacienda agrícola, otra de obras públicas y de otras varias acciones por especificar» (Pagnotta 2012, 107). Ese mismo año se trasladó a Ecuador el consultor de la CIE Italo Paviolo, quien tenía la misión de aportar al proyecto su experiencia adquirida en la colonización italiana de Libia.

Al año siguiente, el 21 de junio de 1921, el financista italiano Leopoldo Girolamo Parodi-Delfino dio forma al proyecto al constituir en Génova la *Compagnia Italiana dell'Equatore (CIE)* con la finalidad de iniciar la explotación minera y petrolera del país, además de actividades bancarias, comerciales y de desarrollo de obra pública (Soave 2008). Como parte de la delegación enviada al Ecuador estuvo el Ingeniero Carlo Bartoli, «… *del Genio navale della marina italiana*» (Soave 2008, 69).

A fin de concretar uno de los objetivos de la CIE, en 1922 Bartoli estableció dos compañías constructoras: la Sociedad General de Construcciones —dirigida por el propio Bartoli— y la Compañía Italiana de Construcciones, ambas filiales de la constructora Compagnia Italiana di Edificazione Milano (IDEM).

En 1923, la CIE constituyó el Banco Italiano, que inició sus operaciones en Guayaquil al año siguiente, con un directorio presidido por Giovanni Almerini y con Antonio Bersani, como Director General y Anselmo Anselmi, Antonio E. Calderón y Riccardo Descalzi, como Directores. En 1930 se incorporaron Federico Saporiti, como Gerente, y Adeodato Tabacchi, con la finalidad de aportar con su experiencia en sacar adelante al banco que ya en ese momento atravesaba problemas financieros relacionados con la crisis en la que vivía el Ecuador de esos años (Arosemena 1998). La CIE fue disuelta finalmente en el año 1937, «… por no llegar a producir utilidades económicas» (Pagnotta 2012, 108).

Por su parte, el Banco Italiano cesó su funcionamiento en 1941 (Arosemena 1998) como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial, cuando por presión de los Estados Unidos de América se inició en Ecuador una persecución a los ciudadanos del Eje que implicó que muchas empresas con capitales italianos y alemanes fueran cerradas y que los ciudadanos de esos países fueran apresados (Estrada 2006).

La Sociedad General de Construcciones

La Sociedad General de Construcciones, filial de la *Compagnia Italiana di Edificazione Milano* (IDEM), fue establecida en 1922 por técnicos italianos de esa compañía, los ingenieros Carlo Bartoli, Giancarlo Bonarda y Mario Gherardi y estuvo en actividad por apenas tres años.

Su obra más importante fue el Palacio de la Gobernación de Guayaquil (figura 1) que inició su construcción en 1923 y fue concluido en 1925, de acuerdo al proyecto del ingeniero alemán Augusto Ridder, el cual fue modificado parcialmente en su interior y en su fachada exterior por Gherardi (Compte 2007).

Otra de sus obras significativas fue la Catedral Metropolitana de Guayaquil (figura 2), según un proyecto neogótico suscrito por Bartoli, Bonarda y Gherardi y que fue iniciado en 1923, sin embargo la Compañía estuvo a cargo de la obra por poco más de un año y solo alcanzó a edificar parte de los cimientos. En 1925 el proyecto fue modificado por el arquitecto Paolo Russo quien continuó a cargo de los trabajos hasta 1934.



Figura 2
Construcción de la Catedral Metropolitana de Guayaquil, febrero de 1925 (Berardi 1925)



Figura 1
Palacio de la Gobernación de Guayaquil, construido por la Sociedad General de Construcciones (Archivo Nacional de Fotografía)

Con proyecto arquitectónico del arquitecto ítalo-chileno Hugo Faggioni La Sociedad General de Construcciones edificó los edificios Juan Illingworth —el primero de la ciudad en incorporar ascensor—, Rogelio Benítes y la sede del Diario El Telégrafo (figura 3). También los edificios Dr. Rendón, Cucalón, Santiago Noziglia y Lorenzo Tous, en 1924 y Guzmán Ycaza y Pareja-Cucalón, en 1925.

La empresa fue finalmente disuelta en 1926, cuando Bartoli, Bonarda y Gherardi se trasladaron a Manizales, Colombia, donde se asociaron con el arquitecto italiano Angelo Papio en la empresa constructora *Papio Bonarda & Cía*.



Figura 3
Diario El Telégrafo. Proyecto del arquitecto Hugo Faggioni, construido por la Sociedad General de Construcciones (Archivo Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil)


COMPAÑIA ITALIANA
DE CONSTRUCCIONES
GUAYAQUIL - ECUADOR
FUNDADA EN 1.923 CAPITAL $ 600.000.00

ANTES DE CONSTRUIR,
CONSULTELE

OFICINA:
Calle "General Córdoba" No. 1.022
Teléfono, C. 1825 Casilla de Correos No. 817

Figura 4
Anuncio de la Compañía Italiana de Construcciones (Álbum profesional Ecuatoriano, 1940)

La Compañía Italiana de Construcciones

La Compañía Italiana de Construcciones (figura 4), también filial de la *Compagnia Italiana di Edificazione Milano* (IDEM), fue establecida en 1922 por Anselmo Anselmi (Aliprandi y Martini 1930), director del Banco Italiano, y estaba conformada por los ingenieros italianos Giovanni Lignarolo, Rieppi, Domenico L'Abbate, Oscar Battaglia, Riccardo Winderling y Rodrigo Perrotta Ricciuti, además del técnico en hormigón armado Luigi Fratta (1877-1961) y los arquitectos Francesco Maccaferri Colli (1897-1973) y Paolo Russo Scudiery (1885-1971) (Compte 2007).

Desde su fundación, y hasta 1937, el Director Técnico fue el ingeniero Arnaldo Ruffilli, quien además fue profesor de las carreras de arquitectura y de ingeniería civil de la Universidad de Guayaquil donde dictaba las cátedras de Hormigón Armado y Estabilidad de Construcciones, además de impulsor de la creación del Instituto de Mecánica de Suelos de esa misma universidad.

De este primer período, y con proyectos de Maccaferri, corresponden el Palacio Municipal de Guayaquil (figuras 5 y 6), construido entre 1924 y 1929; los edificios Víctor Manuel Janer (figura 7) (Primer Premio Municipalidad de Guayaquil en 1924), Leopoldo Izquieta Pérez (Segundo Premio Municipalidad de Guayaquil en 1924); el Palacio del Hospital General de Guayaquil en 1924 (figura 8) y los Garajes España en 1925. Con proyectos de Russo, los edificios Venegas-Chevasco, entre 1923 y 1925 y Antón en 1924 y los edificios Repetto y Rizzo, en 1924 (Berardi 1925).

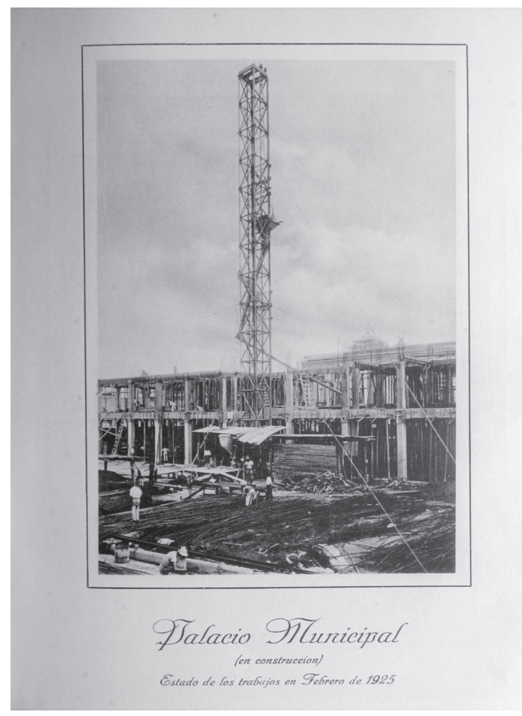


Figura 5
Proceso de construcción del Palacio Municipal de Guayaquil, febrero de 1925 (Berardi 1925, 9)



Figura 6
Palacio Municipal de Guayaquil, inaugurado el 9 de octubre de 1929, fachada del proyecto original. Proyecto del arquitecto Francesco Maccaferri, construido por la Compañía Italiana de Construcciones (Archivo Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil)

Esta compañía también aportó en la construcción de importante obra de infraestructura, como el relleno de sectores centrales de la ciudad (Urbanización de una importante zona de la ciudad por la C. I. de Construcciones 1926) y de otras edificaciones públicas, como el Muelle-Aduana (no conlcuido), según proyecto de Maccaferri, y el Mercado Central, bajo la dirección técnica de Lignarolo y Battaglia, de acuerdo al proyecto del artista portugués Raúl María Pereira (Compte 2007), además de obras privadas, como los Almacenes Generales de Depósito (Berardi 1925).

Sobre ese primer período de la compañía, una publicación de la época se refería de la siguiente manera: «A esta compañía, establecida en 1921 (sic), se deben algunos de los más grandes y hermosos edificios de Guayaquil: el Palacio Municipal (la construcción moderna más vasta de la República), el Hospital General, el Mercado Municipal, Garages, casas particulares, etc.» (Aliprandi y Martini 1933, 65).

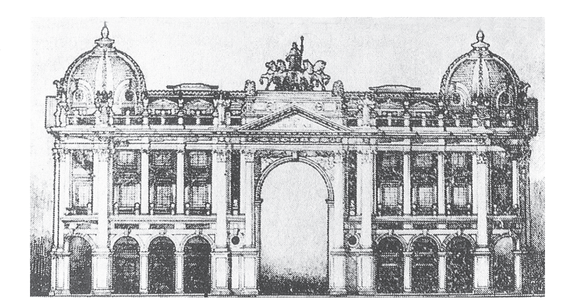


Figura 7
Edificio Víctor Manuel Janer, Primer Premio Municipalidad de Guayaquil del año 1924. Proyecto del arquitecto Francesco Maccaferri, construido por la Compañía Italiana de Construcciones (Archivo Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil)

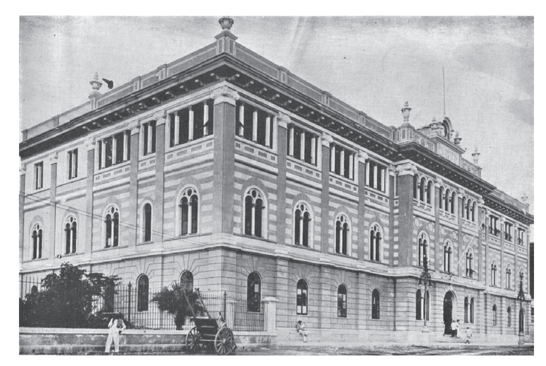


Figura 8
Palacio del Hospital General de Guayaquil, c. 1930. Proyecto del arquitecto Paolo Russo, construido por la Compañía Italiana de Construcciones (Archivo Nacional de Fotografía)

En 1935, y hasta 1937, se incorporó a la compañía en calidad de proyectista, el ecuatoriano Héctor Martínez Torres, en ese entonces estudiante de la Escuela de Arquitectura que había fundado Maccaferri en 1929. Con proyecto de Martínez Torres se construyeron los edificios Diamante Fanni (Segundo Premio Municipalidad de Guayaquil 1936) y Casal Maspons (figura 9) (Primer Premio Municipalidad de Guayaquil 1937).

Luego de la separación de Ruffilli de la empresa, asumió la dirección técnica y arquitectónica el arquitecto húngaro Fernando Schimanetz. De este segundo período son los edificios Prealfaro y Vignolo en 1938, el Edificio Fiore (figura 10) y la Clínica Guayaquil en 1939 y la sede de la Sociedad Filantrópica del Guayas en 1940. Conformaban el equipo técnico, además, Rodrigo Perrotta y los ingenieros ecuatorianos Pedro Boloña Rodríguez y César Plaza Ledesma.

Finalmente la compañía fue disuelta en 1941, luego de que el Ecuador estableció la Lista Negra que incluía a ciudadanos del Eje y a empresas con capitales de esos países que debían ser cerradas. El propio



Figura 9
Edificio Casal Maspons, proyecto de Héctor Martínez Torres, construido por la Compañía Italiana de Construcciones. Primer Premio Municipalidad de Guayaquil del año 1937 (Archivo Diario El Universo)



Figura 10
Edificio Fiore, 1939, proyecto del arquitecto Fernando Schimanetz, construido por la Compañía Italiana de Construcciones (Archivo Diario El Universo)

Schimanetz fue tomado prisionero en 1943 y llevado al campo de detenidos que se estableció en la isla panameña de Taboga (Estrada 2006, 51).

La Compañía Constructora Ytaly

A inicios de la década de 1930 el técnico en hormigón armado Luigi Fratta, junto con el arquitecto Paolo Russo —quienes habían sido parte del equipo técnico de la primera etapa de la Compañía Italiana de Construcciones— fundaron la Compañía Constructora *Ytaly.*

Fratta, asumió la responsabilidad técnica, mientras Russo dirigía el equipo arquitectónico. Entre sus proyectos están la casa de Carlos Frugone y hno., alrededor de 1930; la casa Vincenzo Andretta y el edificio de Clorinda Cardone de Andretta en 1930; la casa Jacobo Thome en 1933; la Iglesia de Nuestra Señora de La Merced (figura 11), entre 1934 y 1936; la Iglesia del Corazón de María, según proyecto del escultor Enrico Pacciani Fornari, la casa Pablo Castello en 1935; la Iglesia de Santo Domingo de Guzmán y el Palacete Russo en 1937, entre otros (Compte 2007). Ya para mediados de la década de 1940 había cesado su actividad (Estrada 2006).



Figura 11
Iglesia de Nuestra Señora de la Merced, construida por la Compañía Constructora Ytaly (Archivo Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil)

Otros aportes italianos en el desarrollo de la industria de la construcción

Los italianos que migraron a la ciudad también establecieron algunas industrias que empezaron a producir elementos y complementos para la construcción. Una de las primeras empresas fue la *Marmeria di Pietro Faggioni*, establecida en Guayaquil en 1913 a partir de la que había fundado su padre, el escultor Augusto Faggioni en 1893, y que estaba dedicada a la construcción de monumentos funerarios y elementos arquitectónicos (Aliprandi y Martini 1930, 87).

En 1929 Giovanni Malnati estableció la *Fabbrica Nazionale di Ceramica* con capital mayormente italiano, con el fin de desarrollar la producción «… de cerámica en general, artística e industrial» (Aliprandi y Martini 1930, 72). Dos años más tarde Cristóbal Accini fundó la Fábrica de Mosaicos INCA dedicada a la fabricación de «…tinas de baño, aguamaniles, cofres para exhumación de restos y planchas para mesas, mosaicos al gusto más exigente del cliente y tubos de cemento de desagüe de toda dimensión» (Aliprandi y Martini 1933, 91).

En 1933, se asociaron Fernando Chiocca, Emilio Soro y Marino Brida «…el primero técnico en cerámicas, el segundo escultor y el tercero experto en construcciones en cemento armado» (Aliparandi y Martini 1935, 123) y fundaron la *Sociedad Edilizia,* la cual era promocionada como una fábrica de cerámica artística y comercial, además de estudio de escultura anatómica y decorativa. Ofrecían como servicio el desarrollo de trabajos en mármol natural y artificial, mosaico de cemento y toda clase de trabajos de arquitectura y destacaban que la empresa estaba «… libertando (sic) al Ecuador de la esclavitud con el Extranjero en este importantísimo ramo de las cerámicas» (Aliparandi y Martini 1935, 123).

Epílogo

Al ser una ciudad portuaria, Guayaquil estuvo abierto al mundo y a los cambios tecnológicos, a diferencia de Quito y otras ciudades de la región andina donde hasta la llegada del ferrocarril a inicios del siglo XX su contacto con el exterior era más limitado. En Guayaquil la reconstrucción luego del Gran Incendio y la necesidad de evitar que se destruyera nuevamente posibilitó que se incorporaran rápidamente los avances en materiales y técnicas constructivas que llegaban del exterior que se consideraba que eran más resistentes al fuego. De esta manera la madera dio paso al cemento y los carpinteros de ribera a los arquitectos e ingenieros y compañías constructoras, como la Compañía Italiana de Construcciones y la Sociedad General de Construcciones, que modificaron significativamente la manera de edificar en la ciudad ya que se pasó de una manera artesanal de la construcción a procesos más tecnificados, en los que se incorporaron nuevos materiales y procesos, además del cálculo estructural y el hormigón armado.

Lista de referencias

Álava, J.; Baquerizo, H. y F. Hagó. 1976. *Evolución histórica de la vivienda dentro del marco del desarrollo urbano en la región de Guayaquil*. Tesis de grado. Guayaquil: Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Aliprandi, Ermenegildo y Virgilio Martini. 1930. *Gli italini in Equatore. Rassegna delle vite e delle opere della stirpe itálica in terra equatoriana.* Guayaquil: Artes Gráficas Senefelder.

Aliprandi, Ermenegildo y Virgilio Martini. 1933. *Anuario Ecuatoriano*. Guayaquil: Aliprandi & Martini editores.

Aliprandi, Ermenegildo y Virgilio Martini. 1935. *Anuario Ecuatoriano*. Guayaquil: Aliprandi & Martini editores.

Arosemena, Guillermo. 1998. *La historia empresarial del Ecuador. Volumen III. El sector bancario.* Guayaquil: Guillermo Arosemena editor.

Berardi, E. (ed.). 1925. *Dos años de actividad italiana en Guayaquil (Equador). Febrero 1923 – Febrero 1925*. Milano: E. Berardi i Cia.

Compañía «Guía del Ecuador» (ed.). 1909. *El Ecuador. Guía comercial, agrícola e industrial de la República.* Guayaquil: Talleres de artes Gráficas de E. Rodenas.

Compte, Florencio. 2007. *Arquitectos de Guayaquil.* Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Estrada, Jenny. 2006. *Lista Negra en Ecuador: II guerra mundial*. Guayaquil: Poligráfica.

Gálvez, Arnaldo (ed.). 1930. *Codificación de ordenanzas municipales. Concejo Municipal de Guayaquil.* Guayaquil: Talleres Municipales.

Hidalgo González, Pedro. 1939. *Monografía sintética de Guayaquil. Guayaquil, its history, its commerce, its industries, its possibilities.* Guayaquil: Imprenta i Talleres Municipales.

Pagnotta, Chiara. 2012. La migración italiana en Ecuador: Quito y Guayaquil como lugares de arribo y asentamiento. En *Ciudad-estado, inmigrantes y políticas, Ecuador 1890-1950*, editado por J. Ramírez, 97-120. Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales.

Soave, Paolo. 2008. *La «scoperta» geopolítica dell'Ecuador. Mire espansionistiche dell´Italia ed egemonia dell dolaro 1919-1945.* Milano: Franco Angelli.

Torres Dávila, Víctor. 2012. *Estado e industrialización en Ecuador. Modernización, fricciones y conflictos en los años cincuenta.* Quito: Abya Yala.

Urbanización de una importante zona de la ciudad por la C. I. de Construcciones. (El Telégrafo, Guayaquil). 31 de mayo de 1926, 1.

Arquitecturas en esquina y su solución estético-constructiva en el México del siglo XVIII

Alejandra Contreras Padilla

El siglo XVIII implicó en una serie de cambios que tuvieron un impacto a nivel de innovación constructiva, desarrollada por los arquitectos novohispanos en México. Si bien, los espacios civiles, religiosos o habitacionales tenían como común denominador el partido arquitectónico de claustro, o de crujías en torno a un patio. La particularidad vendrá cuando entre los años 1732-1736 el arquitecto Pedro de Arrieta construyera el Tribunal del Santo Oficio en la capital del Virreinato, en donde deja las cuatro esquinas del claustro exentas de columnas, por lo que se considera un alarde tecnológico de su tiempo.

Sin duda alguna, el edificio del Santo Oficio se convirtió en un referente, y esta solución posteriormente fue reproducida en otros edificios en la segunda mitad del siglo XVIII, destacando que, en al menos otros tres casos, se realiza el mismo ejercicio de hacer el acceso principal en la esquina del edificio por el corte a 45°, en el ochavo, pero será sólo en esa esquina del patio donde se elimine la columna, en las otras tres esquinas sí están presentes las columnas. Tal es el caso de la llamada «Casa Chata» en el centro de Tlalpan en la Ciudad de México de mediados del siglo XVIII, antigua casa de retiro de los inquisidores del Santo Oficio; La Caja Real, obra de arquitectura civil de 1764 en el actual estado de San Luis Potosí, así como en el Palacio del Conde de Súchil en el actual estado de Durango, que inició su edificación en 1764 a cargo del maestro Pedro de Huertas.

El Tribunal del Santo Oficio fue un edificio que representó un alarde constructivo durante la primera mitad del siglo XVIII, por la solución que dio Arrieta en los rincones de claustro, al hacer un doble arco tranquil y dar el efecto de estar suspendido el arco sin apoyo alguno al centro, para la segunda mitad del mismo siglo, siguió siendo un referente. El objetivo de este trabajo será el de identificar esta solución constructiva en el edificio del Santo Oficio y ver como esta solución estética y constructiva fue referente en otras tres construcciones del siglo XVIII en México.

El Tribunal del Santo Oficio

El Tribunal del Santo Oficio (figura 1) es un inmueble que se construyó en la capital del virreinato de la Nueva España por el Arquitecto Pedro de Arrieta, quien desde 1695 había sido nombrado maestro Mayor del Santo Oficio. En el lugar ya se había construido un edificio para albergar la casa de los Inquisidores, pero presentaba graves dificultades por hundimientos diferenciales por lo cual debía hacerse una nueva construcción. Sobre esto hay registros que ubican que desde 1723 se había enviado un proyecto a España para pedir la aprobación real, misma que se otorgó en 1732 cuando se empezó su construcción, terminándose el 25 de diciembre de 1736, en un tiempo extraordinario para la época de cuatro años. Que debía incluir la residencia de los inquisidores, los despachos y las secretarías para llevar a cabo los juicios, así como espacios para cárceles, funcionó



Figura 1
Portada principal del Tribunal del Santo Oficio (Foto: A. Contreras, 2019)

como Tribunal durante 84 años hasta que fue clausurado en 1820.

Lo particular de este edificio se centra en la solución técnica constructiva que resolvió el arquitecto con la finalidad de pretender que el edificio se integrara con la plaza ubicada en la contra esquina, esto lo logró colocando el acceso principal del edificio en la esquina y no en uno de los laterales como era lo común (figura 2). Al hacer el acceso en la esquina, se tenía vista directa al patio en donde se celebraban algunos de los juicios que reunían a las multitudes y con esta solución arquitectónica la gente también se podía congregar en la Plaza de Santo Domingo y seguir los procesos inquisitoriales que se realizaban al interior del edificio. De esta manera el patio del edificio de la Inquisición se extendía hasta la plaza de enfrente.

Con respecto al proyecto elaborado por Pedro de Arrieta, Fernández del Castillo rescata en su texto, que el proyecto fue sometido a la aprobación de dos arquitectos, ellos dijeron que, «les parecía excelente proyecto, y sobre todo admiración de la portada, pues goza de una y otra calle y de toda la plazuela… quedará con notable hermosura y con la novedad de singularizarse por única en este reino», por lo que decidieron aprobar el proyecto a partir de la propia descripción que hiciera Arrieta sobre esta edificación singular y única en el reino:

> … y que el patio principal goce de una forma de cuadrado perfecto… y al mismo tiempo se consigue dejar un patio capaz para lo que se ofrezca en algún día de auto, y para lo mismo y mayor lucimiento he discurrido ochavar la esquina que da hacia la plazuela de Santo Domingo y dar en ella la puerta principal, en que podía ostentar y ser cosa notable su arquitectura, gozándose así por esquina tanto de la parte poniente como la sur, que son las dos calles que coge dicha Inquisición, desembocará directamente en dicha plazuela de Santo Domingo la puerta principal, con lo que parecerá que el Tribunal está en dicha plazuela… (Fernández y Castañeda 1986, 27).

La construcción de piedra, tezontle y cantería con una gran portada, la denominada «puerta chata» dando acceso al edificio por un lugar inusual, «la esquina», que generó una solución constructiva y funcional, al entrar en diagonal al patio (figura 3). El historiador de Arte Manuel Toussaint describe la solución tecnológica de manera clara y precisa, afirmando que, a pesar de parecer un malabarismo esta solución, son simplemente dos arcos cruzados, cuyas claves se prolongan hacia abajo para simular que cuelgan «sin que nada los soporte» (Toussaint 1990, 158).

La solución que desarrolla Arrieta para los rincones de claustro será mediante arcos rampantes o por tranquil, cuyos arranques están situados a distintos niveles, en un extremo del arco apoyándose sobre una columna adosada al muro, mientras que, en el otro extremo, se soporta en la segunda columna del claustro y no por la primera ya que esta no existe.

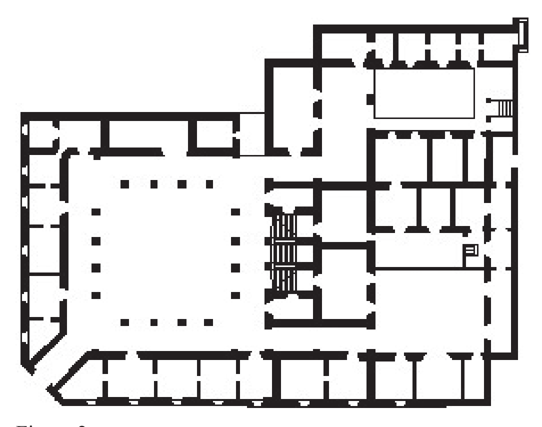


Figura 2
Planta arquitectónica del Tribunal del Santo Oficio (Plano elaborado por A. Contreras)



Figura 3
Solución de la esquina ochavada con la intersección del doble arco rampante (Foto: A. Contreras 2019)

> Cuya total fábrica es especial, principalmente la construcción de los arcos de los cuatro ángulos de su patio principal por estar sostenidos sin pilares con sólo el corte de sus claves, cuyo artificio y primor solamente conocen los aficionados a la arquitectura, porque la vulgata mira estas cosas sin reparar en ellas lo admirable (Villaseñor y Sánchez [1775] 2005, 724).

Arrieta desarrolló un gran arco rampante o Tranquil, y en la piedra clave alarga la pieza hacía abajo, también a este tipo de arcos el historiador Toussaint lo llama *Pendantif*, como un «pendiente» que pende o se cuelga del arco (Toussaint 1990, 158). Visualmente la imposta, pinjante, o la piedra clave que queda «suspendida» del arco genera el efecto visual de faltar el apoyo vertical (columna) y que el arco este suspendido sin apoyo al centro. Constructivamente el arco arranca en el muro apoyándose en la columna y del otro lado llega a otra columna, por lo que cada dovela está trabajando a la compresión a lo largo de los dos aparentes arcos que se forman, pero es uno solo que va del muro a la segunda columna del claustro (figura 4).

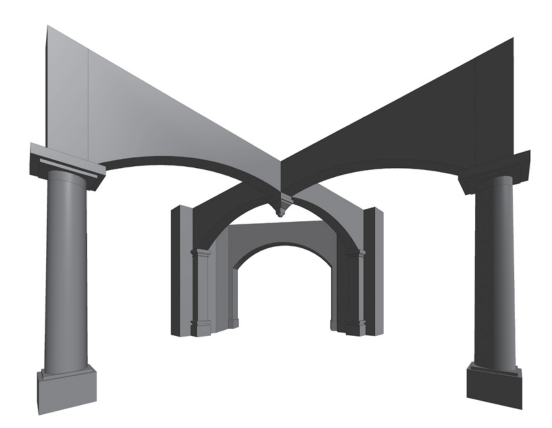


Figura 4
Modelo tridimensional de la solución de arcos dobles en la esquina del Palacio de la Inquisición (Elaborado por A. Contreras)

El edificio de la Inquisición es de dos pisos, con un patio cuadrangular, conformado por cuatro crujías, con arquerías en planta baja y en planta alta con arcos rebajados, columnas dóricas con base cuadrada.

La Casa Chata en el Centro Histórico de Tlalpan, Ciudad de México

La denominada Casa Chata (figura 5) se encuentra en la actual Alcaldía de Tlalpan en la Ciudad de México, en la esquina que forman las calles de Hidalgo y Matamoros. Desde el siglo XVII, Tlalpan fue conocido como San Agustín de las Cuevas. Sobre la casa que ahora nos ocupa, no hay registro de su fecha de construcción ni del arquitecto que la hizo, pero aparece en referencias hacia el segundo tercio del siglo XVIII, ya que se había consolidado la población española tanto civil como religiosa (Ponce 1997:17). Otro factor que consolidó el espacio urbano de la zona fue encontrarse en el camino de la salida sureste de la capital del virreinato, en donde franciscanos, dieguinos y dominicos, construyeron grandes casas que sirvieron como albergue a misioneros que emprenderían el largo viaje de la Ciudad de México, Cuernavaca, Taxco y finalmente el puerto de Acapulco para embarcarse a las Filipinas, o recibirlos en su viaje de regreso a la ciudad de México. En ese sentido, Tlalpan era el principio y el fin del camino hacia las Filipinas.

La Santa Inquisición tenía un terreno precisamente en este poblado, en la salida a Cuernavaca, con un huerto muy amplio en donde mandó construir un mesón que servía para hospedar a quienes llegaban o salían de la ciudad de México, y junto a este Mesón se construyó una residencia de campo para los Inquisidores mayores.

A pesar de que varios historiadores aseguran que este proyecto es de Pedro de Arrieta al ser el arquitecto de la Inquisición, y que este edificio formaba parte de las casas que tenían los señores inquisidores como fincas de descanso, la afirmación es incorrecta, ya que Pedro de Arrieta murió en 1737 y este edificio, aunque no se tiene fecha exacta de su construcción, aparece en registros después de la segunda mitad del siglo XVIII cuando Arrieta ya había muerto. Por otra parte, al analizar la obra de Arrieta, siempre se caracterizó por la simetría y ortogonalidad de sus diseños, con una limpieza y claridad en la composición arquitectónica «única y singular». Evidentemente el diseño de este edificio, en este sentido, no pudo haber sido obra del Arquitecto del Santo Oficio, por los ángulos inclinados, en donde además no coindicen los ejes de composición y la irregularidad de los espacios.

Lo mismo ocurre en la portada, Pedro de Arrieta no sucumbió ante las formas del barroco de su tiempo, en donde predominaba el barroco estípite o el anástilo con decoraciones suntuosas. Él más bien hace una estilística un tanto austera, con elementos clásicos, pero, sobre todo, no utiliza las líneas rectas, siendo una particularidad de su obra las líneas rectas, lo que veremos en las plantas, en los alzados, en las molduras de puertas y ventanas. Los roleos que tiene en el frontispicio el acceso de la Puerta Chata, así como los elementos decorativos en el arquitrabe con elementos ondulatorios no podrían ser obra de Arrieta.

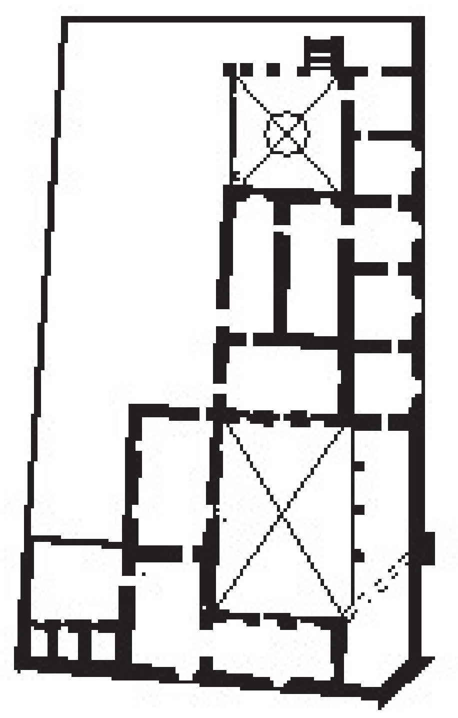


Figura 5
Planta arquitectónica de la Casa Chata (Elaborado por A. Contreras)

El edificio es de factura sencilla, de una sola planta, siendo el uso original el habitacional. La portada del edificio está dispuesta en la esquina, en el chaflán, con cantería de color rosado enmarcando la puerta, siendo esta el único acceso al inmueble (figura 6). Está flanqueada por pilastras de fuste con almohadillado, mientras que en el cerramiento tiene una moldura ondulante, también con un almohadillado típicamente barroco. Las pilastras se unen por encima del cerramiento con un entablamento en cuyo friso hay rosetones alternando con triglifos, así como dos grandes roleos con volutas que enmarcan al centro una cruz.

El muro donde se encuentra la portada remata en una molduración ascendente. El portón es de cedro blanco finamente tallado. En cuanto a las otras dos fachadas hay diferencias significativas, la fachada sur presenta un contrafuerte, que resulta extraño, al



Figura 6
Portada de la Casa Chata (Foto: A. Contreras, 2019)

ingresar al inmueble se distingue que es en esa sección donde se recibe el gran arco que genera el ochavo en el acceso, por otra parte, cornisas que rematan los nichos, de donde surgen las gárgolas de piedra, grandes ventanales con fierro forjado, con jambas de piedra. Mientras que, en la fachada poniente, las ventanas son de menores dimensiones y no presentan remates de cantería ni jambas que las adornen.

Al acceder al edificio se llega a un pórtico, que forma parte del patio principal. Está compuesto por dos arcos de medio punto y dos medios arcos en forma de asa de canasta, uno de ellos se apoya en el muro y el otro en la clave del amplio arco de entrada, paralelo al ochavo de la fachada (figura 7).

Los tres arcos que forman el pórtico descansan sobre columnas se sección octagonal, con modulación en su cubo y capitel del estilo dórico, realizadas de cantería rosa. El arco en chaflán se apoya en pequeñas columnas a manera de pilastras de sección octogonal y base cuadrangular en el cubo.



Figura 7
Detalle del arco paralelo al ochavo del acceso (Foto: A. Contreras)

Con respecto a la planta arquitectónica, el patio sólo tiene pasillo o corredor en el costado sur, compuesto por tres arcos y medio siendo en este dónde se encuentre el acceso. Es un edificio conformado por tres crujías, el acceso principal que esta cortado a 45° tiene un arco escarzano, de aproximadamente seis metros de claro, que se desarrolla en sentido paralelo a la puerta de entrada de la esquina formando el zaguán. En los otros tres lados del patio de proporciones rectangulares, se abren las puertas y ventanas de diversas estancias con típica prolongación de jambas.

La Real Caja de San Luis Potosí

Se asume que Federico Cleere es el arquitecto que construyó el edificio, ya que fue designado por el visitador Gálvez en 1767 para construir las nuevas Casas Reales. Cuatro años después, el cavilado lo designó para que eligiera el sitio adecuado para que se construyera la nueva Alhóndiga. En el acta de la sesión se asentó que Cleere era persona «que logra felizmente una completa instrucción en lo práctico y mecánico que necesitan estas obras, tanto por el respectivo a comprar materiales en tiempos convenientes y lo demás que haga ahorros como en lo especulativo, por la inteligencia que posee en el noble arte matemático de la arquitectura, a que junta lo más apreciable que es un conocido celo y actividad por el bien público» (Cordero 2006:48).

El estilo arquitectónico apoya la autoría de Cleere por la similitud del tratamiento de la fachada de la Real Caja con la del Santuario de Guadalupe también en la ciudad de San Luis Potosí, obra comisionada al Tesorero real de 1772, y con algunos elementos de la Casa de Recogidas, también diseñada por él en 1774 y realizada con el auspicio de Francisco de Mora, Conde de Santa María de Guadalupe del Peñasco.

La particularidad de este edificio, como en los anteriores es el acceso ochavado en la esquina, en este caso el acceso se enmarca por unos dados con rombos que sostienen en el primer cuerpo, pilastras de orden toscano con estrías en el fuste (figura 8). Para enmarcar el entrepiso, se extiende el entablamento hacia la calle para generar un balcón al centro. Mientras que en el segundo cuerpo las pilastras están rodeadas de una cintilla con el lema Non plus ultra, que se enreda en ellas.

Los capiteles son compuestos que a su vez reciben las volutas de la cornisa, la cual se eleva de manera semi trilobulada enmarcando un nicho que alberga una estatua de la Purísima. A los costados se elevan sendas columnas que abarcan los dos niveles del edificio de orden salomónico ricamente decoradas rematadas en pináculos.

El zaguán de planta hexagonal está cubierto por una bóveda de arista aparentemente dividida en seis gajos que centraliza el espacio. Del zaguán se pasa al patio, que parece ochavado por la disposición de los arcos que también los centralizan, aunque en realidad es cuadrado.

Con un patio cuadrangular, rodeado por tres crujías, el último elemento que cierra el claustro es un espacio que sirve como conector para acceder al segundo patio (figura 9). El claustro está conformado por dos niveles, con columnas y arcos de medio punto, pero, particularmente en este caso, las cuatro esquinas del edificio están exentas de columnas. La solución constructiva que se da es la de trazar un arco que una en diagonal de las esquinas. El arco que se forma es un arco rebajado (figura 10).

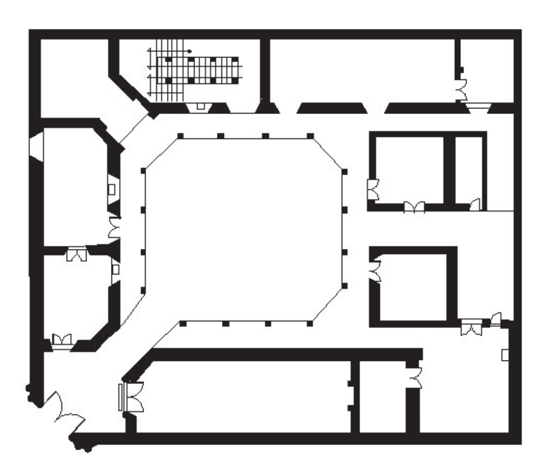


Figura 9
Planta arquitectónica de la Real Caja (Foto: A. Contreras, 2017)

Para Alicia Cordero, en el último tercio del siglo XVIII los arquitectos se interesaron en retomar elementos arquitectónicos del pasado y Cleere no fue la excepción, ya que siempre asumió una fuerte influencia en su obra del arquitecto Juan Caramuel (Cordero 2006: 55), a través de su tratado *Arquitectura recta y Oblicua* publicada en 1674. En la intro-



Figura 8
Fachada principal de la Real Caja (Foto: A. Contreras, 2017)



Figura 10
Detalle de la esquina del claustro con la solución de liga entre los arcos (Foto: A. Contreras, 2017)

ducción al Tratado se lee, que los arquitectos debían conocer su propio estilo y labrar las piedras emulando a los antiguos. Caramuel presentó estudios sobre la deformación óptica al ver las balaustradas y columnas en planos oblicuos, y para corregirla, desplazó los elementos, para que el espectador disfrute visualmente de una obra armónica y equilibrada. Esto puede identificarse en los capiteles desplazados de las columnas de la escalera de la Real Caja, se reconoce el intento de aplicar esta corrección.

La portada dispuesta por Cleere en ochavado, remite a la que utilizó Arrieta en 1733, en el Palacio de la Inquisición en la Cuidad de México. Este corte a 45° le da una amplitud en el espacio urbano al edificio, haciendo que destaque entre las calles angostas en que se encuentra.

Entre las referencias que pueden identificarse con respecto a algunas soluciones arquitectónicas implementadas en el Palacio de la Inquisición podemos establecer las siguientes, en primer lugar a la que hace referencia el Arquitecto de la Real Caja Federico Cleere, que de manera explicita segura que el edificio proyectado por él, está basado en el Tratado de Arquitectura Oblicua de Juan de Caramuel,[1] en este tratado que se divide en la arquitectura recta y la oblicua, siendo esta segunda en la que profundice sus estudios Cleere.

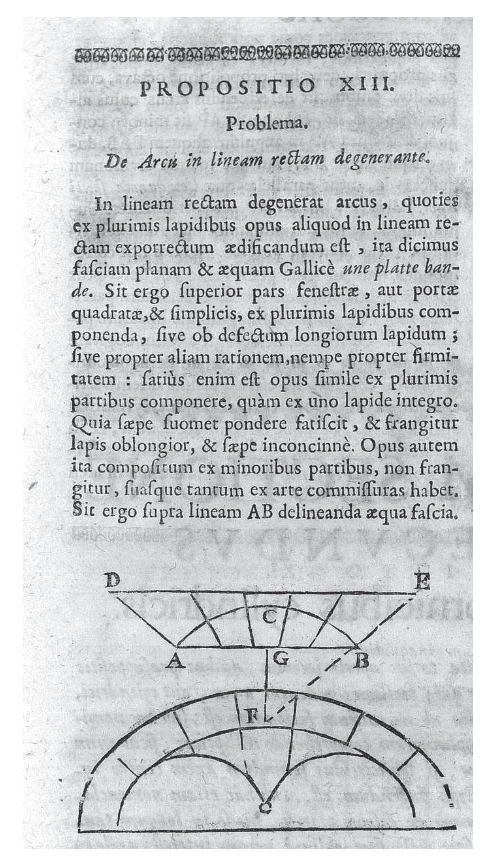
Para Juan de Caramuel la diferencia entre la arquitectura recta y la oblicua consiste en:

Edificare recte, es edificar bien, edificar guardando las leyes y reglas del arte Ædificare recta, es edificar muros a línea recta y junto a ellos se ponen estatuas y colunas según las leyes de las líneas rectas y parallelas, y los Angulos Rectos prescriben, Añado, que Ædificare oblique, es edificar muros, que con otros, con quines hazen angulo obliquo, tengan buena correspondencia (Caramuel, T II, Art. 1 1679:2).

En este sentido, para Caramuel, la arquitectura oblicua no sólo tiene que ver con la construcción de edificios en superficies inclinadas, o al diseño de las rampas de las escaleras con determinado ángulo, específicamente con respecto al tema que nos ocupa, aquí podría estar la justificación del acceso ochavado «rompiendo» la ortogonalidad del edificio, generando esta arquitectura de ángulos. Esto lo describe ampliamente en el Artículo III, De la *Ichonographia*, o *Sciographia*, donde hay una sección titulada «De las especies de la oblicuidad», en donde analiza de manera analítica apoyado en ilustraciones sobre los distintos ángulos que pueden lograrse en los planos de los edificios. En la lámina II sobre la oblicuidad de los muros y la Lámina III, presenta la planta de un edificio con «cortes» en ángulo para jerarquizar y ampliar el acceso, así como muros con cierto ángulo en los vanos que representan las ventanas.

> De quantos modos fe puede un muro comparar y componer con otro; y como fe ha de cubrir de Arcos o Vovedas.
>
> Aunque algunas veces por neceffidad erigen Muros Oblicuos los Artifices; otras lo hazen fin ella, para mostrar fu ingenio, y quanto puede el Arte de la Architectura, fi fe eftudia con curiosidad. (Caramuel, 1679:105)

Otra referencia significativa será la que se encuentra en el Tratado de Claudio Francisco Milliet Decha-



PROPOSITIO XIII.

Problema.

De Arcû in lineam rectam degenerante.

In lineam rectam degenerat arcus, quoties ex plurimis lapidibus opus aliquod in lineam rectam exporrectum ædificandum eſt, ita dicimus faſciam planam & æquam Gallicè *une platte bande*. Sit ergo ſuperior pars feneſtræ, aut portæ quadratæ,& ſimplicis, ex plurimis lapidibus componenda, ſive ob defectum longiorum lapidum; ſive propter aliam rationem,nempe propter firmitatem: ſatiùs enim eſt opus ſimile ex plurimis partibus componere, quàm ex uno lapide integro. Quia ſæpe ſuomet pondere fatiſcit, & frangitur lapis oblongior, & ſæpe inconcinnè. Opus autem ita compoſitum ex minoribus partibus, non frangitur, ſuaſque tantum ex arte commiſſuras habet. Sit ergo ſupra lineam AB delineanda æqua faſcia.

Figura 11
Detalle de la ilustración de un arco doble con piedra clave alargada hacia abajo del Tratado *Cursus Mundus Mathematicus* (Libro I, p.629)

les, *Cursus Mundus Mathematicus* 1690. En la Sección XIV se plantean los propósitos o principios geométricos que debe mantener la arquitectura. En el propósito XI, se describe el problema sobre el trazo de lo que aquí se denomina un arco de pies desiguales, o el arco tranquil, este arco de pies desiguales, como ordinariamente lo llaman rampante. Mientras que en la sección XIII, se presenta un arco cuya piedra clave esta prolongada hacia abajo (figura 11).

Siguiendo con el tema de los tratados, en el Tratado *De Ædificatoria* de Leon Baptista Alberti, L.1, p.25, está la siguiente descripción:

> Y no dexaré de decir aquí que he notado por cosa señalada y digna de decir acerca de los antiguos, que estas aberturas, y los arcos de las bóvedas fueron puestos de tal suerte por los architectos antiguos en los templos, que si quitaredes todas las columnas de dentro, como queden arcos de las aberturas y las bóvedas de los techos no se caeran, de tal suerte son las guias de todos los arcos sobre que cargan las bóvedas tiradas hasta el suelo de maravilloso artificio, conocido de pocos que esta firme obra restribando en solo los arcos, porque como a ellos la tierra les es cuerda finísima (libro, 1, cap. XII, 25).

Palacio del Conde del Valle de Súchil

Se encuentra en la esquina de la actual calle de Francisco I. Madero y 5 de Febrero, antes calle Real y de San Francisco, en la actual Ciudad de Durango capital del estado del mismo nombre. Este palacio lo mandó construir el Coronel de infantería Don José Carlos de Agüero no como palacio nobiliario sino como Casas reales del reino de Nueva Vizcaya. Al saber el Rey el costo y suntuosidad del edificio, recomendó que fuese vendido por considerarlo excedido en su tamaño y ostentación. Este inmueble fue construido en 1764 por el maestro Pedro de Huertas, por encargo de Don Joseph Ignacio del Campo y Larrea (Bargellini, 1999:134), quien fue nombrado primer Conde del Valle de Súchil en Durango, por el rey Carlos III de España. La casa fue adquirida por José del Campo Soberón al ser nombrado teniente del Gobernador y Capitán General de la Nueva Vizcaya.

El palacio se encuentra en esquina, en un terreno rectangular, el ángulo que forma en la esquina se encuentra cortado a 45° formando un ochavo enmarcado por pilastras de cantería rematadas en la parte superior por pináculos. La planta baja es más sencilla, con pilastras rectilíneas, mientras que en el segundo cuerpo se desarrollan columnas estípites y tableros forrados de relieves. En el friso hay decoraciones de guirnaldas, listones, conchas, frutas y flores (figura 12).

Pasando la esquina, se accede al pórtico para llegar al primer patio que es cuadrado, bordeado por pasillos en cuatro de sus lados y tres crujías, dos de ellas dando a la calle y la tercera la que se encuentra al fondo dividiendo el predio y formando atrás con otras tres crujías, otro patio rectangular de tres corredores.

Así como se forma ochavo en la esquina por donde se entra al palacio, así se forma otro en la esquina del primer y principal patio, sostenido por un par de arcos cruzados al modo del palacio de la Inquisición de la Ciudad de México, falseando éstos en la esquina con una dovela clave colgante que simula dos arcos en este paramento, pero en planta alta no se resolvió así de manera muy sencilla se colocó un arco a 45° formando el ochavo. De planta rectangular, este edificio presenta dos crujías, al igual que la Real Caja, en uno de los costados se ubica el núcleo de la escalera que comunica con el segundo patio (figura 13).

El primer y principal patio cuadrado con crujías en tres lados está rodeado en la planta baja por columnas toscanas que arrancan de plintos cúbicos, tanto los fustes como los arcos rebajados que sostienen éstas se encuentran decorados con estrías móviles y las enjutas con motivos vegetales de extraordinario labrado, divididos por impostas de donde arrancan las



Figura 12
Portada principal del Palacio del Conde de Súchil (Foto: A. Contreras, 2009)

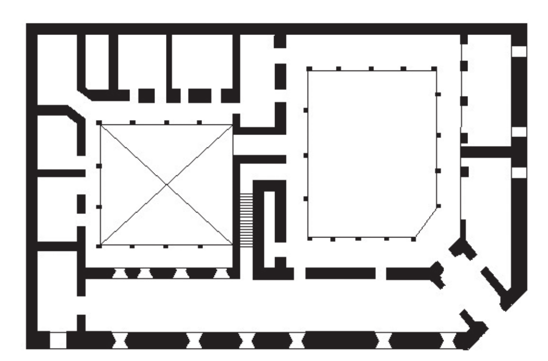


Figura 13
Planta arquitectónica del Palacio de Súchil (Plano elaborado por A. Contreras, 2009)



Figura 14
Detalle del arco con clave colgante (Foto A. Contreras, 2009)

columnas de orden toscano. El patio remata con un entablamento y cornisa, el primero adornado con motivos geométricos y el segundo con una especie de onda.

En la planta baja se encontraban hacia la calle las oficinas de los administradores y encargados de las Haciendas propiedades del Conde y las bodegas y caballerizas al fondo y en el segundo patio. En la segunda planta, vivía la familia con sus alcobas, asistencias, comedor, antecomedor, cocinas y el salón de estrado. De la puerta principal separa al primer patio a través de un zaguán. De inmediato, llama la atención el arco con clave colgante en el corredor frente a la entrada. El patio es un espacio rodeado por cuatro corredores con arcos y columnas cubiertas por relieves en zigzag. En el corredor sur del patio, otro arco con clave colgante introduce la escalera compuesta por dos rampas, que dan al segundo patio de la casa.

Este es el edificio que más se asemeja estructuralmente a la solución desarrollada por Arrieta, en el Tribunal del Santo Oficio, con su característica fachada achaflanada que como da a la esquina, fue recortada para mostrarse de frente a la plaza. El arco con clave colgante del patio que da a la entrada es una de las características que lo singularizan, sin apoyo de columnas es todo un riesgo arquitectónico (figura 14).

Antiguamente, frente a la portada, se abría la plazuela del conjunto de edificios franciscanos de la ciudad: la iglesia de San Francisco, el convento de San Antonio y la capilla de la Tercera Orden (Bargellini, 1999:126). En otras palabras, la portada de la casa decoraba una de las fachadas que rodeaban la plaza, otra similitud con el Palacio de la Inquisición en México y la Plaza de Santo Domingo, en la actualidad ya no existe la plaza, ni las construcciones franciscanas destruidas hacia 1917.

Para el Historiador Francisco de la Maza, el palacio de Súchil es el edificio más importante de la arquitectura civil novohispana en la Ciudad de Durango al que considera el edificio colonial más hermoso de la ciudad y de todo el norte de México (De la Maza 1948). Ciertamente no tiene rival en ninguna otra casa señorial construida en esa época en aquella vasta región, resultado del desarrollo que caracterizó la capital de la Nueva Vizcaya en el siglo XVIII.

Reflexiones finales

Al ver las similitudes formales y constructivas que presentan estos edificios, siempre se toma como referencia que el modelo a seguir fue el Palacio del San-

to Oficio y que fue el que sirvió de modelo para hacer otras construcciones. Pero la duda surge cuando, el arquitecto de la Real Caja afirma que su obra está inspirada en el Tratado de Juan de Caramuel de 1678 sobre Arquitectura Oblicua y no es una obra inspirada en el edificio de Arrieta.

A pesar de presentar soluciones diferentes en el diseño de los patios, en la solución constructiva que se da en las esquinas, el palacio de Súchil, constructivamente hablando, es el que más se asemeja a la obra del Santo Oficio. El rincón del claustro presenta el arco doble con el pinjante al centro, pero las dovelas en este caso tienen mayor decoración con las estrías móviles. También existe la similitud del contexto urbano, al encontrarse en contra esquina de una plaza, lo que permitía prolongar el ángulo de visión desde la plaza, por el acceso ochavado, hasta el interior del patio del palacio y viceversa. En la actualidad la plaza desapareció y en su lugar hay una construcción, mientras que la Casa Chata, atribuida a Pedro de Arrieta, es el diseño más sencillo y la solución de la Real Caja es la de poner los arcos de las esquinas en diagonal y no arcos dobles como en los otros tres casos.

Evidentemente los Tratados de Arquitectura son la base de gran parte de la arquitectura desarrollada en la Nueva España, en este sentido surge la duda sobre la influencia del Palacio de la Inquisición en el Diseño de la Real Caja o si fue la influencia de los Tratados de Arquitectura de la época. Evidentemente es la suma de ambas. Aunque no hay un registro minucioso sobre las obras que pudo haber tenido Pedro de Arrieta en su acervo, evidentemente por el rango y los puestos que ocupó al ser Maestro Mayor de la Ciudad, Maestro Mayor de la Catedral y Maestro Mayor del Santo Oficio debió contar con estas publicaciones. Si fue el Tratado de Arquitectura, o el propio edificio fue el que influyó en la materialización de otros con las mismas soluciones estético – constructivas, presupone el conocimiento tanto de los Tratados y sus contenidos, como de la obra de Arrieta en la capital del Virreinato para otros arquitectos durante la segunda mitad del siglo XVIII.

Notas

1. En la introducción del Tratado se describe que Juan Caramuel fue un monje cisterciense, Doctor y profesor de Santa Teología en la Universidad de Lovaina en la región de Flandes. Arzobispo de Praga, Obispo de Satriano y Campagna (ambas localidades en Italia) y Escrutador del Consejo de su Majestad Felipe II. Resulta significativo que, en la introducción al segundo tomo sobre Arquitectura oblicua, se afirma que este es el primer libro que se ha escrito sobre el tema.

Lista de referencias

Alberti, León Baptista. 1582. *Los diez libros de Arquitectura.* Online: http://www.cehopu.cedex.es/img/bibliotecaD/1582Losdiezlibrosdearquitectura.pdf

Amerlinck, María Concepción. 1981. Pedro de Arrieta, su origen y testamento. *Boletín de Monumentos Históricos,* época primera, 6. México: INAH.

Amerlinck, María Concepción. 2011. Pedro de Arrieta y su tiempo. En *Pedro de Arrieta. Arquitecto (1692-1738)*. México: UNAM – CONACULTA.

Bargellini, Clara; Curiel Gustavo et. al. 1999. *Casas Señoriales del Banco Nacional de México.* México: Fomento Cultural Banamex.

Berlín, Heinrich. 1945. El arquitecto Pedro de Arrieta. *Boletín del Archivo General de la Nación*, 16 (1).

Caramuel, Juan de. 1678. *Arquitectura civil recta y oblicua*. Vegeven: En la emprenta obispal por Camillo Corrado. Online: https://archive.org/details/architecturacivi00cara/page/n852

Casa de la Cultura CITYBANAMEX. Palacio del Conde del Valle de Súchil: http://fomentoculturalbanamex.org/casasdeculturabanamex/palaciodesuchil/arquitectura/

Cordero Herrera, Alicia, 2006. La Real Caja de San Luis Potosí. *Boletín de Monumentos Históricos*, tercera época, núm. 7, México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Cortés Rocha, Xavier y Coral Ordoñez Nischil. 2016. *Restauración de los anexos de la calle de la perpetua. Antiguo Palacio de Medicina*. México: UNAM.

De la Maza Francisco, 1948. *La ciudad de Durango*. México: Editorial Grama.

De la Maza, Francisco. 1951. *El Palacio de la Inquisición (Escuela Nacional de Medicina)*. México: Instituto de Investigaciones Estéticas - UNAM.

Miguel de León Portilla. 2005. *José Antonio de Villaseñor y Sánchez. Theatro Americano. Descripción general de los reynos y provincias de la Nueva España y sus jurisdicciones. Seguido dl Suplemento al Theatro Americano de la Ciudad de México en 1755*. México: UNAM.

González Cárdenas. Francisco J. 1994. *El palacio o casa nobiliaria en la Nueva España*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Arquitectura. División de estudios de Posgrado e investigación. México.

Fernández del Castillo, Francisco y Hermilo Castañeda Velasco. 1986. *Del Palacio de la Inquisición al Palacio de la Medicina.* México: UNAM.

Fernández, Martha. 1985. *Arquitectura y Gobierno virreinal. Los Maestros Mayores de la Ciudad de México siglo XVII*. México: UNAM.

Milliet de Chales, Claude-François. 1690. *Cursus seu mundus mathematicus. Lugduni:* Apud Anissonios, Joan. Posuel & Claud. Rigaud. Online: http://bvpb.mcu.es/es/consulta/registro.cmd?id=420342

Montero, Margarita y González, Clara. 1997. *La Casa Chata de Tlalpan. Semblanza de una vieja casa de campo*. México: CIESAS.

Ortiz Macedo, Luis. 1990. *La Hacienda de San Agustín de las Cuevas*. México: Coordinación Afianzadora Insurgentes.

Ortiz Macedo, Luis. 2004. *La Historia del Arquitecto mexicano. Siglos XVI – XX*. México: Grupo Editorial Proyección de México.

Ramírez Montes, Mina. 1987. *La Escuadra y el cincel. Documentos obre la construcción de la Catedral de Morelia.* México: UNAM.

Romero de Terreros, Manuel, 1953. Una Antigua casa de Campo en *Anales Instituto de Investigaciones Estéticas*, No. 21. México: UNAM.

Toussaint, Manuel. 1974. *Arte colonial en México.* México: Instituto de Investigaciones Estéticas - UNAM.

Una cúpula heptagonal para la ermita heptagonal de Carlet

Luis Cortés Meseguer
Jorge García Valldecabres
Alba Soler Estrela
José Pardo Conejero

En medio de la huerta valenciana, en la Ribera alta del río Xúquer, se erigió una primera ermita en honor a San Bernardo y sus hermanas María y Gracia en el siglo XVII. Un siglo después, sobre 1768, se reconstruyó y pasó a ser de dimensiones mayores de planta heptagonal con cúpula central, a modo de martyrium o mausoleo con una tribuna circundante en planta primera alrededor del espacio central. Una edificación similar es la ermita de San Miguel de Nules (Castellón), obra del prestigioso arquitecto y director de la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos de Valencia, Antonio Gilabert, a quien se le podría atribuir la misma ermita de Carlet, por la fecha de construcción y por la relación entre las familias de los propietarios de ambas construcciones.

Uno de los objetivos del artículo es reseñar los estudios realizados sobre la posible autoría, confrontando la ermita de Carlet con la de Nules y otras obras de Gilabert, quien sería el encargado de realizar la reforma neoclásica en la catedral de Valencia a finales del siglo XVIII. Gilabert es un maestro de la albañilería valenciana, demostrado tanto en estos ejemplos, como también en la cúpula de las Escuelas Pías, la de mayores dimensiones en territorio valenciano.

Con ocasión de las obras de restauración de la cúpula de Carlet que se ha dado comienzo y los resultados obtenidos por las catas arqueológicas, se ha descubierto que la disposición de la cúpula entra dentro de las cúpulas tabicadas de dos roscas, aunque, por el momento, no pueden obtenerse más datos del exterior de la cúpula original.

Se pretende determinar en este artículo la materialidad constructiva para la restauración de la envolvente de una cúpula de este tipo, en donde las tejas vidriadas, el mortero y la sujeción de dichos materiales sobre el soporte desempeñan una importante misión, junto al de un preciso replanteo de la posición de las tejas que definirán los ríos y cobijas. Ambos, son la base para la óptima restauración y, que la obra perdure en el tiempo.

Protección arqueológica de su emplazamiento

La ermita y su terreno se encuentran a menos de 1 km del centro urbano de Carlet en la partida denominada de Pintarrafes, área eminentemente rural y de cultivo de frutales como el caqui y los cítricos.

El Catálogo de los bienes de naturaleza patrimonial de Carlet establecen como yacimiento arqueológico Y.5., a partir de la presencia en alzado de «L'Ermita de Sant Bernat», edificio del siglo XVIII que según las fuentes documentales y la tradición oral se ubica sobre el lugar de nacimiento del mártir. Es por ello, que en esta zona le es de aplicación el art. 62 de la Ley 4/1998, de 11 de junio, del Patrimonio Histórico-Artístico, en el cual se informa de que la presunción de restos arqueológicos obligará al promotor, en caso de realización de obras, públicas o privadas, a aportar un estudio previo sobre los efectos que las obras proyectadas pudieran causar en los restos de esta naturaleza, suscrito por un técnico

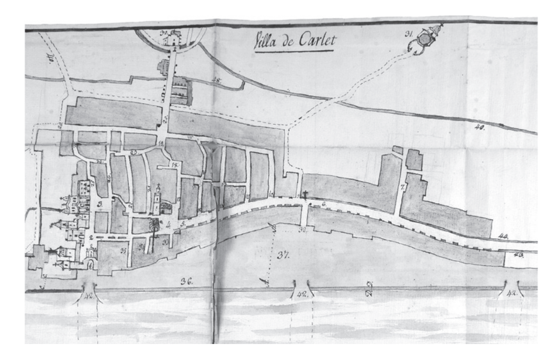


Figura 1
Plano histórico de la Villa de Carlet con la ermita actual arriba a la derecha (anónimo)

competente. Las actuaciones precisas para la elaboración de dicho estudio serán autorizadas por la Conselleria de Cultura, Educació i Ciència, que establecerá los criterios a los que se ha de ajustar la actuación, y se supervisarán por un arqueólogo designado por la propia Conselleria.

En casos en los que se proyecte una remoción del subsuelo se efectuarán sondeos arqueológicos previos que determinen la existencia o inexistencia de potencia a la que se encuentran los restos arqueológicos, tanto en el propio inmueble, como en el terreno circundante.

Según la bibliografía consultada, se alzaba sobre este terreno la antigua alquería de Pintarrafes, así como el alcázar donde Almanzor se alojaba con su familia y lugar de nacimiento del mártir San Bernardo, motivo por el cual, el área de protección arqueológica no se debe circunscribir únicamente al lugar sobre el cual se emplaza la ermita, sino que se amplía a los campos circundantes

Un entorno rural para una ermita culta

El edificio se encuentra, según narran, donde nació Sant Bernat, en el despoblado de Pintarrafes, Camí de Xàtiva y antiguo camino que coincide parcialmente con la Vía Augusta y centro neurálgico del Vall dAlcalans. Según la ficha de catálogo del Plan General, «la ermita fue bendecida el 20 de agosto de 1766, siendo conde de Carlet Felipe de Castellví», siendo la ermita propiedad del Conde de Carlet hasta que la cediera a la cofradía de S. Bernat, María y Gracia, fundada esta en 1960. El entorno es el despoblado de Pintarrafes y según Sanchis Sivera: «Señálense los lugares de los despoblados de Pintarrafes y Masalet, donde emplaza la tradición el palacio en que vivió Almanzor, quien dio muerte a sus hermanos Santos Bernardo, María y Gracia... Una ermita dedicada a estos santos, que son los patronos de la villa, construida por los condes de Carlet, recuerda el tradicional emplazamiento de la vivienda del feroz moro».

En la actualidad, nos encontramos con que la ermita se halla en medio de la huerta, próxima existe una torre y línea de alta tensión que afectan negativamente a la lectura del paisaje histórico de este bien patrimonial, siendo un elemento impropio y cuyo trazado debería ser modificado para no desvirtuar el lugar de ermita, dado el alto impacto visual que se tiene al aproximarse al lugar desde el único camino que existe, que se inicia de forma frontal a la fachada que contiene el acceso principal. Además, el paso de dicha línea puede resultar dañino para la salud.

No obstante, con anterioridad a esta ermita, según diversos autores como Sucías Aparicio, existiría una construcción anterior «construida por el año 1650 y se bendijo por orden del Vicario general de Valencia, dando la autorización á Don Miguel Miralles, cura de Carlet en el año 1666».



Figura 2
Vista aérea de la ermita y su entorno inmediato (Cofradía de los Santos Patronos Bernat, María y Gracia)

Descripción del edificio

El edificio actual es de 1766, siendo un dato de especial relevancia porque adquiere un sentido especial a la hipótesis de la autoría atribuida al Maestro Arquitecto Antonio Gilabert, el mismo que proyectó la ermita heptagonal de Nules, aunque deberá estudiarse pormenorizadamente.

En el exterior, una plaza elíptica antecede al cuerpo de la ermita, que es un edificio exento de planta centralizada a modo de martyrium o mausoleo de planta heptagonal, con un primer cuerpo con fachada plana y dos alturas y en cuyo centro se eleva una cúpula azulada sobre tambor y que su cara interna presenta planta circular. Así pues, el cuerpo que circunda la capilla, presenta doble altura en el interior, siendo la planta baja el acceso, casa del ermitaño, acceso a la tribuna y estancias de sacristía y otras, y la planta primera es una tribuna que da vistas al interior de la capilla, del mismo modo que sucede en la basílica de Ntra. Señora de los Desamparados de Valencia. Tal y como se ha citado, el interior, que está cerrado por los muros, tambor y cúpula es el espacio de culto, estando modulado por un orden gigante con capiteles corintios planos y decoración de óculos, huecos y plafones tardobarrocos, propio de Antonio Gilabert en obras anteriores a las Escuelas Pías o renovación de la Catedral de Valencia.



Figura 4
Ermita de San Miguel de Nules (Francisco Fernández)



Figura 3
Vista del interior de Sant Bernat de Carlet (Luis Cortés)

La entreplanta, a modo de tribuna y que presenta huecos sobre la capilla, se encuentra cubierta a un agua con una estructura moderna de madera y a modo de museo.

A pesar de su ingenuidad arquitectónica de planta heptagonal y cúpula sobre tambor, esta ermita representa la tradicional arquitectura rural valenciana, con los muros de mampostería encalada, rejería de forja, carpintería de madera y tejas árabes. El interior, presenta el refinamiento arquitectónico y las trazas clásicas para acoplar el orden en el interior, denostando una arquitectura culta.

A nivel estructural, esta se compone de muros de carga, hipotéticamente de mampostería, y viguería de madera, siendo la cúpula tabicada de dos hojas y que fue intervenida sin gran acierto sobre 2004. Las cargas de la cúpula están contenidas en el tambor y los muros que la sostienen, estabilizando la parte inferior de los muros del tambor por el cuerpo externo, ya

que las vigas de madera de la cubierta del cuerpo externo y el forjado ayudan a equilibrar tensiones y aumentan la inercia estructural.

La principal característica de esta ermita es que es de planta heptagonal, al igual que la ermita de San Miguel de Nules, hito en la historia de la Arquitectura y que solo un gran maestro podría realizar, por su originalidad y por el conocimiento estructural y constructivo en dicha tipología constructiva.

Breve memoria histórica

La tradición Bernardina reconoce que en el lugar conocido como Pintarrafes (Carlet) nació en 1135 Ibn Ahmed al Mansur (San Bernardo), hijo del arrais o reyezuelo de Carlet, que se convirtió al cristianismo a su regreso tras visitar el Monasterio de Poblet, viaje que realizó como embajador del rey Llop de Valencia ante el conde Ramón Berenguer IV a la ciudad de Barcelona. Años más tarde a su vuelta a Carlet, bautizó a sus hermanas Zaidia y Zoraida, las futuras Santas María y Gracia. Su propio hermano, el nuevo arrais, mandó ejecutarlos cerca de Alzira en 1181, siendo hoy en día Patronos de Alzira y Carlet.

El conde de Carlet erigió una primera o primitiva ermita en agradecimiento a dichos santos porque su hijo se salvó de una grave enfermedad, siendo bendecida en 1666 y cuyo texto (Miralles 1666) se reproduce a continuación:

> Bendecí yo el infra firmado Rector la Ermita de San Bernardo mártir hijo de Carlet, fincada en el lugar llamado Pintarrafes en 20 de agosto de 1666, con licencia dada por el Doctor Panzazo Vicario General en el presente Arzobispado de Valencia por el Ilustrísimo y Reverendísimo Sr. Don Martín López de Ontiveros, arzobispo de Valencia, en 21 de julio de 1666 y refrendada por Sebastián Borrull notario, siendo Conde de Carlet el Sr. Don Felipe de Castellví y Juan, Señor de Benimodo de la Casa Real de Pintarrafes y Masalet, Barón de Tous y del Castillo y Vall de Terrabona, Caballero de la Orden de Ntra. Señora de Montes y San Jorge de Alfama. Firmado Miguel Miralles, rector

El edificio existente en la actualidad debió construirse de nueva planta bendiciéndose el 23 de julio de 1765, existiendo la duda de si el arquitecto proyectista fue Antonio Gilabert, dado el carácter arquitectónico y decorativo de la ermita, tan asociado a di-



Figura 5
Interior de la iglesia de San Andrés de Alcudia (Luis Cortés)

cho arquitecto en ese periodo tardobarroco, también podríamos incluirlo en rococó, anterior a la creación de la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos, organismo impulsor del asentamiento estético del Neoclasicismo en el Academicismo. Gilabert (1716-1792) fue el director de la sección de Arquitectura de dicha academia y uno de los principales arquitectos valencianos de finales de siglo XVIII, teniendo la autoría de iglesias como la de Turís o L'Alcudia, siendo sus obras de mayor envergadura la finalización de la iglesia de las Escuelas Pías o la renovación academicista de la Catedral de Valencia, obra que no pudo concluir, ya que falleció en 1792. Obra de Gilabert que guarda un símil decorativo sería la iglesia de San Andrés, en L'Alcudia. No obstante, existe una mayor similitud con la ermita de San Miguel de Nules, obra del mismo arquitecto y que curiosamente, es heptagonal como la de Carlet. También hay otro vínculo para reforzar la hipótesis de Gilabert como autor de la ermita de Carlet, ya que por la relación de Gilabert con la familia Castellví, a la que pertenecía el Conde de Carlet, el primero realizó la citada ermita heptagonal en Nules (Castellón) poco tiempo antes.

En 1999 la condesa de Carlet cedió el edificio a la Cofradía de los Santos Patronos Bernardo, María y Gracia, creada en 1960, a la actual propietaria, la cofradía de ilustres patronos. En 2002 el arquitecto Roberto Primo García redactó una memoria para que en el año 2004 se realizara una intervención de reconstrucción del tejado de las tejas vidriadas de la cúpula; en el que también se sustituyeron las vigas de madera, el tablero y la cubrición de la tribuna. Existe do-

cumentación meticulosa de esta obra por parte de la Cofradía, que tuvo que recaudar fondos para cubrir los gastos de la intervención, finalizando las obras en diciembre de 2005.

A lo largo de estos dos últimos años, se han venido realizando reparaciones parciales, dado que se caen tejas de la cúpula y hasta se constata que varios ríos de tejas se han desprendido en estos mismos años.

En julio de 2018, la Cofradía solicita al Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, la realización de un meticuloso informe sobre la conveniencia de intervenir en la cúpula y que es el precedente directo para la realización del proyecto de restitución de toda la cubierta de tejas. También, se ha realizado el levantamiento 3D del total de la ermita, siendo un documento importantísimo para la restauración y conservación de esta obra patrimonial.

Patología y descripción de lo encontrado

El desarrollar la patología en este artículo tiene la importancia de resaltar posibles errores de diseño y ejecución de cobertura de las cúpulas azules, tan características del territorio valenciano y con tan numerosos ejemplos.

La patología inicial detectada es el resultado de las inspecciones visuales y de las consideraciones históricas y conocimiento constructivo en obras abovedadas. La posterior ejecución de la obra deberá corroborar las hipótesis y corregirlas, en la medida en lo que la realidad diverja de la previsión. La ejecución de las obras debe servir para estudiar con mayor detenimiento el edificio y enumerar todas las lesiones y profundizar en sus daños; ya sabemos que la cubierta presenta deficiencias de impermeabilización, ya que la teja que cierra la cúpula se desprende y cae sobre la cubierta inferior, la de la tribuna.

En el interior, tan solo se tiene constancia de humedades en un punto de encuentro entre el faldón del cuerpo externo y el muro interno que sostiene la cúpula.

La cubierta presenta graves defectos en el agarre de sus tejas, ya sea por una deficiente técnica constructiva, su ejecución y/o materiales poco recomendados para este tipo de cúpulas no imposibilita que resbalen ríos enteros y que se produzcan distintos asientos.

Las deficiencias observadas en la cúpula son varias, resaltando que las tejas presentan resbaladicidad en la cara donde el mortero debe agarrar, además de que tanto las tejas de río o canal como de cobija están vidriadas en la cara vista y en la cara oculta, donde se produce el agarre con el mortero, no presentando una óptima superficie de adherencia. El hecho de que las tejas río estén vidriadas, dificulta en gran medida la óptima adherencia entre el mortero de las cobijas con la aleta que cubren de las tejas de río, siendo más peligroso en la zona de mayor pendiente porque no garantizan la sujeción. En la obra, tan solo las tejas cobija estaban sujetas entre las superiores e inferiores con herrajes metálicos –se han encontrado todos ellos oxidados– en forma de z y con un punto de masilla de color negro con nuestra hipótesis de que se dispuso dicha masilla para favorecer el agarre en el momento de la colocación de la teja. También presenta la curiosidad de que se ha encontrado en la mayoría de casos en los puntos de los herrajes metálicos espuma de poliuretano.

Otro de los hechos que no impide que se resbalen ríos enteros es que las tejas no están ancladas a soporte, sobre todo, las de mayor pendiente y que en algunos puntos, están en un plano casi vertical. También hay que resaltar, que el vidriado al que citamos es un esmaltado moderno y de tecnología actual, siendo las tejas de dicha cúpula de la mercantil Tejas Borja y suponemos que su producción es en torno a 2004. Se ha comprobado en la obra que, tras estos 15 años, el esmaltado ha perdido consistencia, el color de las tejas se ha «quemado» del sol y que algunas de ellas se encuentran agrietadas.

Por otro lado, una vez desmontado un faldón, se ha comprobado que las tejas ríos se desprenden con gran facilidad de las pelladas de mortero de sujeción, existe una carencia de pelladas de mortero en las tejas de cobija, además de que en muchos ríos las pelladas eran de espuma de poliuretano. Por otro lado, los ríos estaban tomados con mortero de cemento, a modo de maestras, siendo esta la única sujeción a soporte, formada por la rosca externa de ladrillo cerámico macizo tabicado y sobre este un mortero de cemento armado con malla de fibra de vidrio, de unos 2,5 cm de espesor.

Por otro lado, el arranque del tejado sobre la cornisa, estaba con tablero de bardo apoyado sobre ladrillos y escombros, en muchos casos como cuñas sin mortero alguno y estos sobre una superficie inclinada

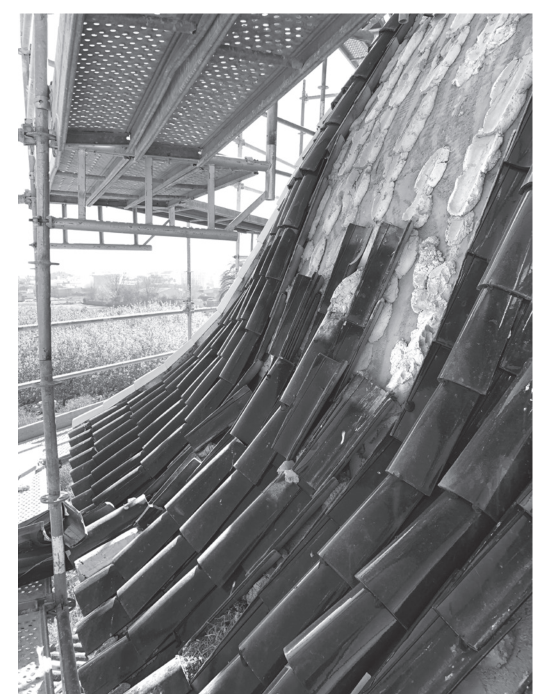


Figura 6
Vista de los ríos caídos con anterioridad a su desmontaje (Luis Cortés)

de hormigón que evita el vuelco de la cornisa volada de ladrillo.

Además, se adivinan reparaciones parciales con la inclusión de masilla o resina en los herrajes de sujeción, que al modificarse la hoja formada por las tejas, la reparación no garantiza la sujeción de las piezas en su punto y no evita que se deforme el total de la capa formada por las tejas.

Otra de las consecuencias de la falta de agarre entre el soporte y las tejas es que se ha producido la deformación de la hoja formada por las tejas y que algunos de los ríos hayan vencido y colapsado, cayendo a la cubierta inferior y rompiendo diversas tejas. En el primero de los casos, se observó que se producía como una dilatación y el abombamiento de la capa de las tejas, alertándonos del peligro de derrumbamiento.

Para evitar el peligro de derrumbe parcial o total de los faldones de la cúpula y que pudiera causar daños a terceras personas o al mismo edificio, se decidió intervenir con urgencia, estableciendo primero un perímetro de seguridad y cerrando el paso a la zona de los faldones que están en riesgo inminente de colapso.

La formación de la cúpula

Habiendo realizado catas parciales para conocer la formación de la cúpula y seguir con el catálogo que ha establecido Rafael Soler de las cúpulas y su disposición constructiva, se han seguido sus directrices para su definición. En el caso de la cúpula de Sant Bernat de Carlet, tendríamos que la cúpula tiene un diámetro interior de unos 8,60 m y descansa sobre los muros heptagonales en su cara externa y circular en la cara interna de 0,67 m, medida tomada en el centro de las caras.

La cúpula está formada por dos hojas tabicadas: la hoja interna es de dos roscas y la hoja externa de una rosca. La hoja interna presenta un tendido de yeso en su extradós, con nervios internos que siguen el orden interno que divide en siete la capilla circular y la hoja externa está apoyada sobre tabiquillos de ladrillo se-

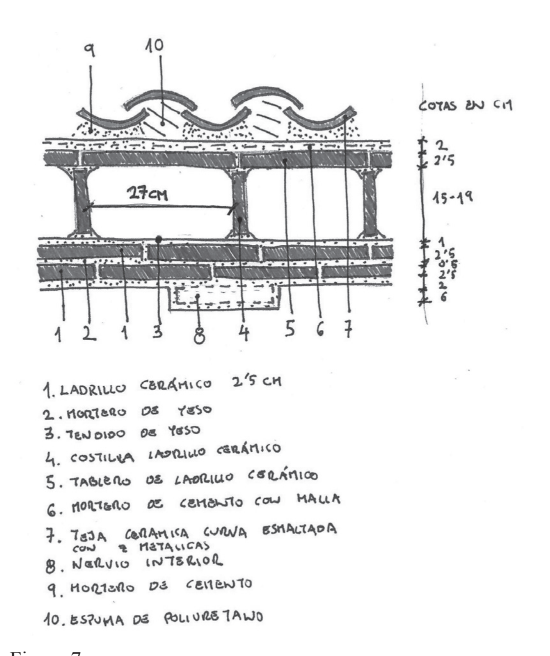


Figura 7
Croquis de la cata del estado actual. Sección horizontal (Luis Cortés)

parados entre sí unos 27 cm, apreciándose la formación de media caña de yeso para aumentar la superficie de apoyo de los ladrillos. La distancia entre ambas hojas varía, teniendo 19 cm en el tercio inferior y 16 cm a mitad altura.

La propuesta de intervención en proyecto

Ante todo, se han dado las instrucciones pertinentes y no se realizará ningún trabajo ni procedimiento que no esté autorizado por la Dirección Facultativa. En caso de encontrarse la contratista con algún contratiempo, este deberá avisar inmediatamente a la Dirección Facultativa. Queda desautorizada cualquier modificación de materiales o disposición constructiva que no cuente con la autorización expresa de la Dirección Facultativa. Las tareas a realizar son:

1. Vallado y señalización de la zona de riesgo para evitar posibles accidentes. Previo al inicio de las obras, la contratista deberá realizar la apertura del centro de trabajo y redactar y presentar el Plan de Seguridad y Salud para su aprobación por parte del Coordinador de Seguridad y Salud. Además, deberán seguir todas las pautas y recomendaciones establecidas en la normativa y legislación vigente, las de la buena práctica constructiva y el buen entendimiento común.
2. Montaje de los medios auxiliares correspondientes, basado principalmente en el andamiaje alrededor de la cúpula y la instalación de una marquesina de acceso al interior del templo. El andamiaje debe permitir que los operarios y técnicos lleguen sin ningún problema, ni riesgo alguno a todos los puntos de lo mismo. Con anterioridad al montaje, se realizará un estudio de carga del mismo andamio y se comprobará que los elementos estructurales de la misma cúpula y son capaces de resistir el peso del andamio en pleno uso.
3. Toma de muestra y ensayos de las tejas y de los morteros de agarre. De las tejas se ensayará la refracción del esmaltado y su comportamiento al gradiente térmico.
4. Desmontaje de las tejas por faldones. Bajo ningún concepto se desmontarán el total de las tejas. El cambio de inercia térmica podría provocar graves daños en la cúpula. Se recuperarán todas las tejas posibles para su posterior reutilización.
5. Se limará la parte oculta de las tejas de cobija y se suministrará teja sin esmaltar para los ríos. Se patinarán los ríos para evitar un fuerte con-

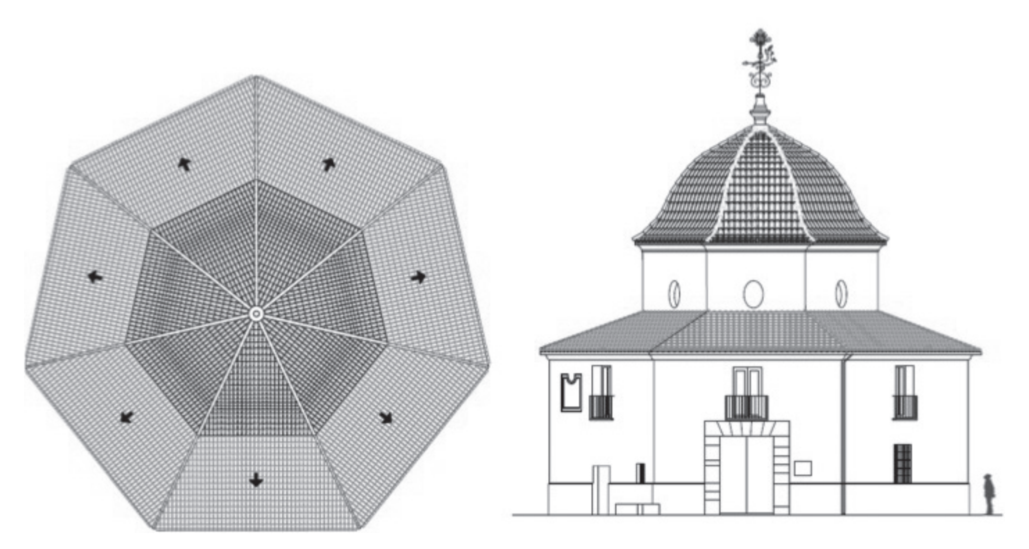


Figura 8
Alzado y planta del proyecto de retejado. (Luis Cortés)

traste cromático entre el color arcilla de los ríos y el azul esmaltado de las cobijas.
6. Replanteo de las hiladas de teja, ríos y bocatejas, teniendo en cuenta el realizar correctamente la curvatura de los planos paralelos de la calota para que no se queden planos los faldones.
7. Retejado de la cúpula teniendo en cuenta que se usará un mortero bastardo que sea capaz de mantener las tejas en su posición y absorber las tensiones por cuestiones reológicas y del cambio de temperaturas y tenga cierta componente de elasticidad y evitar que se agrieten las tejas. Se realizarán ensayos del mortero para adecuar la dosificación óptima para la obra. Como para el anclaje de las tejas a soporte no se pueden utilizar clavos de madera de boj por estar esta madera protegida, se usarán clavos de polipropileno –estarán protegidos de la intemperie– quedando prohibido los elementos metálicos.
8. Limpieza y remates finales.

Se concluye que solo mediante la estrecha colaboración entre la dirección técnica y una empresa de restauración experimentada en estos singulares elementos arquitectónicos como son las cúpulas, se fundamenta gran parte del éxito de la intervención. Es así que se necesita aprender mediante la investigación previa y durante los procesos de puesta en obra, las técnicas y los materiales empleados por los artífices que la diseñaron y erigieron. Y asimismo, con el mayor respeto, introducir técnicas y materiales compatibles con los originales, de tal manera que se logre un resultado de calidad de acuerdo a los principios de una actuación sostenibilidad.

Lista de referencias

De San Nicolás, Fray L., 1796. *Tratado de Arquitectura: Arte y uso de arquitectura: primera y segunda*. Madrid: Ed. Barco López, P.

Fortea Luna, M. y V. López Bernal. 2001. *Bóvedas de Ladrillo. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de aristas*. 2ª edición. Badajoz: Ed. De los Oficios, S.L.

Hidalgo Mora, J. 2015. La ermita de Sant Bernat de Carlet. En *Carlet. Historia, Geografía, Arte y Patrimonio*. Valencia: Universitat de València, Facultat de Geografia i Història.

Moya Blanca, L. 1947. *Bóvedas tabicadas*. Madrid: Ed. Ministerio de Gobernación.

Redondo Martínez, E. 2013. *La bóveda tabicada en España en el siglo XIX: La transformación de un sistema constructivo*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Soler Sanz, F. 2014. *Trazados reguladores en la Arquitectura.* Valencia.

Soler Verdú, R. 1996. Cúpulas en la arquitectura valenciana de los siglos XVI a XVIII. En *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por A. de las Casas, S. Huerta y E. Rabasa, 491-498. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Soler Verdú, R. 2006. Los modelos virtuales. De la geometría a las ecuaciones. En *Cúpulas azules de la comunidad valenciana*, 321–334. Valencia.

Soler Verdú, R. y A. Soler Estrela. 2011. Navegando por el trasdós de las cúpulas tabicadas: tipos constructivos y noticia de artefactos construidos en Construyendo bóvedas tabicadas. *Actas del Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas*, 177–203. Valencia: Universitat Politécnica València.

Soler-Verdú, R. y A. Soler-Estrela. 2015. Tipología de cúpulas tabicadas. Geometría y construcción en la Valencia del siglo XVIII. *Informes de la Construcción*, 67(538): e078. http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.180

Soler-Estrela, A. y R. Soler-Verdú. 2016. Restoration Techniques Applied to Tile Dome Conservation in the Western Mediterranean. Valencia, Spain. *International Journal of architectural Heritage,* 10 (5): 570-588. http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2015.1010127

Soler Verdú, R., A. Soler Estrela y L. Cortés Meseguer. 2017. Tipología de cúpulas. Estudio de los proyectos académicos de la Real Academia de BB. AA. de San Carlos de Valencia. España. 1768-1846. En *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*, *vol. 3*, editado por S. Huerta, P. Fuentes and I. J. Gil Crespo, 1583-1591. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Zaragozá Catalán, A., R. Soler Verdú y R. Marín Sánchez. 2011. *Construyendo bóvedas tabicadas*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

Registro y análisis de construcciones cupuliformes de piedra seca. Los cocons, una tipología singular

Agustí Costa Jover
Cèlia Mallafrè Balsells
Sergio Coll Pla

La piedra en seco es una técnica constructiva vinculada al mundo rural, en la que el único material que interviene con responsabilidad estructural es la piedra. A pesar de ser una técnica muy elemental, las variaciones tipológicas que podemos encontrar en todo el mundo son incontables. Éstas cambian en función del área geográfica, pero los principios mecánicos son siempre los mismos: las piedras se superponen sin usar mortero de ningún tipo, y la estabilidad depende de su propio peso. Se trata de un conocimiento tradicional, generalmente vinculado a actividades agrícolas y ganaderas, donde la economía de recursos es una constante.

Recientemente, la técnica de construcción en piedra en seco ha sido reconocida como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad por la UNESCO (UNESCO 2018). Este reconocimiento pone de manifiesto la renovada valoración de la técnica como nexo con nuestro pasado histórico y tradición constructiva.

En la península ibérica, la mayor parte de estas construcciones datan entre finales del siglo XVIII y principios del XX, en un periodo de gran actividad en el campo y una fuerte transformación del paisaje. Estas construcciones forman parte del patrimonio construido que define el paisaje agrario y son muy importantes como contenedores de valores de identidad, aunque hoy en día están en peligro de desaparición, principalmente como consecuencia del abandono del trabajo en el campo.

Las técnicas actuales de registro topográfico y análisis abren la puerta a nuevas formas de documentar y estudiar este patrimonio construido. El artículo presenta los resultados obtenidos en el estudio de una tipología singular, conocida con el nombre de *cocó,* localizada en el municipio de Tivenys (provincia de Tarragona), cerca de la desembocadura del río Ebro (figura 1). Su función es la recogida y almacenaje de agua de lluvia, y su estructura de planta circular consta básicamente de un muro perimetral y de una cúpula apuntada. Las piedras tienen una disposición muy irregular, definiendo una tipología a medio camino entre la cúpula y la falsa cúpula, ya que su construcción se realiza sorprendentemente sin cimbra.

El objetivo de la investigación es realizar una primera aproximación a esta tipología constructiva a través del uso de la fotogrametría para realizar el levantamiento de forma rápida y precisa. El modelo 3D obtenido en cada caso ha permitido estudiar sus dimensiones, así como analizar sus condiciones de equilibrio por medio de la estática gráfica.

Antecedentes del estudio de construcciones de piedra en seco

Durante el siglo XX, diversos arquitectos han estudiado y clasificado las construcciones de piedra en seco en España. En el área geográfica de Cataluña, el arquitecto Joan Rubió i Bellver (1870-1952) mostró interés por la técnica de construcción en piedra seca a principios del siglo XX, y publicó en



Figura 1
Mapa del ámbito de estudio donde se encuentran los cocons analizados (de los autores)

1914 el estudio titulado *Construccions de pedra en sec* (Rubió 1914) donde clasifica las construcciones en márgenes y muros, portales, chozas (barracas) y chozas singulares, tales como cocos y chozas dobles (barracas dobles). Posteriormente también mostraran interés por el patrimonio vernáculo de piedra en seco autores como Vicente Lampérez i Romea (1861-1923) (Lampérez Romea 1922) y Leopoldo Torres Balbás (1888-1960) (Torres Balbás 1933) entre muchos otros.

Más recientemente, encontramos publicaciones como la realizada por los arquitectos Miguel García Lisón y Arturo Zaragozá Catalán, cuyo libro se titula *Arquitectura rural primitiva en secà* (García y Zaragozá 2000). En este caso, la clasificación incluye numerosas tipologías, y se divide en: tierras construidas, canalizaciones de agua, refugiados naturales, lugares de caza, construcciones de ovejas y hogares temporales. Otros autores, como (Vegas, Mileto y Cristini 2010) también han revisado los orígenes de la técnica constructiva en la península Ibérica, donde también explican algunas tipologías como los chozos, barracas, pozos y también puentes.

Los métodos utilizados habitualmente para registrar y catalogar las construcciones de piedra en seco en la actualidad apenas han cambiado desde los utilizados por Rubió i Bellver en 1914. Así, los avances técnicos más recientes apenas han afectado a los procesos de registro, catalogación y conservación de estas estructuras rurales.

En el ámbito del patrimonio construido, ha tenido un gran impacto en los procesos de registro topográfico las técnicas de captura masiva de datos. Existen diversas técnicas, pero posiblemente la fotogrametría digital y el escáner láser terrestre son las más extendidas. Ambas técnicas han sido ampliamente testeadas para su uso en patrimonio con resultados muy positivos (Koutsoudis 2014) siendo además compatibles y complementarias entre si.

Así, diversas investigaciones recientes han abordado desde el ámbito científico el registro y estudio de las construcciones de piedra en seco por medio de técnicas de captura masiva de datos (Restuccia et al. 2012) utilizan el escáner láser terrestre para el estudio geométrico y constructivo de construcciones de piedra en seco en los Montes Ibleos (Sicilia, Italia), donde los autores identifican un sistema mixto de construcción que combina la aproximación de hiladas horizontales y la ubicación de sillares inclinados (Rossi y Leserri 2013) profundizan en la dificultad que supone realizar un levantamiento preciso de las construcciones de piedra en seco, y tantean diferentes aproximaciones gráficas basadas en técnicas de captura masiva de datos en diferentes tipologías constructivas en Italia (pagghiaras y trullos) y ponen de manifiesto la importancia de estas bases gráficas para la conservación de las construcciones. Por otra parte, (Barroso et al. 2018) plantean la utilización del escáner láser terrestre en el estudio de construcciones de piedra en seco, en este caso en las falsas cúpulas construidas en la zona de Geres-Xurés, situada entre España y Portugal, donde esta técnica de captura masiva de datos resulta de gran utilidad debido a la gran irregularidad de las construcciones.

Por otra parte, diversos estudios han profundizado en las condiciones de equilibrio de las construcciones de piedra en seco, principalmente de muros de contención y falsas cúpulas. En el caso de las segundas, (Foti et al. 2016) plantean una aproximación analítica a las condiciones de equilibrio de las falsas cúpulas. El primero expone que el análisis límite por líneas de presión no es efectivo para el estudio de esta tipología de cúpulas debido a las

interacciones entre las piedras, mostrando como ejemplo la imposibilidad de trazar una línea de presiones contenida en la sección de un trullo italiano. El cálculo se realiza a partir de una teoría modificada para falsas cúpulas basada en (Benvenuto 1987) y (Rovero y Tonietti 2014) y también del método conocido como Thrust Network Analysis (TNA) desarrollado por Philippe Block (Block y Ochsendorf 2006) (Block y Lachauer 2014). También (Rovero y Tonietti 2014) profundiza en el cálculo de falsas cúpulas. Por otra parte, (Todisco, Sanitate y Lacorte 2017) realiza un estudio tipológico extensivo sobre la tipología del Trullo, donde también analiza las condiciones de equilibrio a partir de los estudios desarrollados por (Wanda, Ochsendorfy Zessin 2010).

Caso de estudio: los cocons

La palabra *cocó* se define en el diccionario catalán – valenciano – balear como:

> Hoyo natural abierto en la roca, en el que se pone agua cuando llueve o cuando llega la mar (oro., Vale., Bal.); cast. cucharro, hoyo. (DCVD)

La definición del diccionario catalán – valenciano – balear, aunque relacionada con el agua, no se corresponde con la tipología constructiva identificada. Otra definición más específica se encuentra en la mencionada obra de Joan Rubió i Bellver, publicada en el anuario del Colegio de Arquitectos del 1914 (Rubió 1914). Se define como:

> Cocó: sitio expreso para guardar el cántaro lleno de agua para que se conserve sana y fresca. Además del agua del cántaro, insuficiente si se trata de poder dar bebida a algún animal, o por otros usos, es frecuentísimo, en comarcas donde la capa de tierra vegetal es de poco espesor, y que por tanto, la piedra es muy superficial, el disponer un área más o menos grande, bien limpia y con los riachuelo convenientes para que el agua de la lluvia se recoja en un pequeño pozo, pasando antes por un hoyo filtrador, al fondo del cual se disponen las materias pesadas. (Rubió 1914)

Así, un cocó es un depósito de agua formado por una cavidad encargada de almacenar el agua de la lluvia cubierto por una estructura encargada de proteger el agua de la radiación solar directa, a la vez que permite la ventilación. La cavidad encargada de almacenar el agua puede estar excavada directamente en la roca o construida con piedra en seco y recubierta interiormente con barro y cal, creando una barrera impermeable que evita que se pierda el agua almacenada en el interior. A menudo encontramos una combinación de ambas, debido a la ubicación de los cocons en zonas con una pendiente pronunciada.

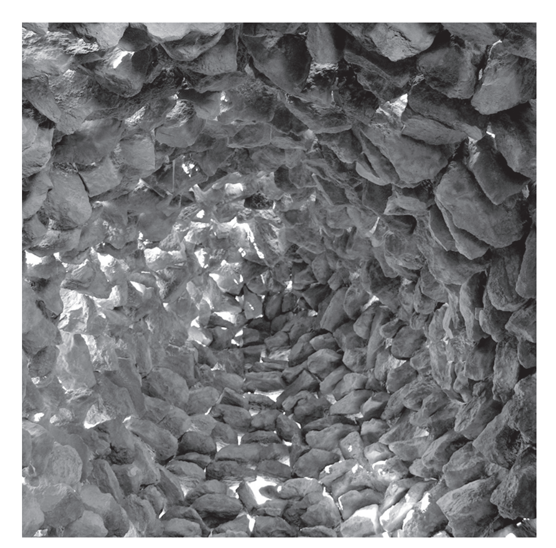


Figura 2
Fotografía interior de un cocó (de los autores)

La parte superior construida con piedra seca consta de un muro perimetral a dos caras sobre el que se levanta una cúpula apuntada (figura 2). Las piedras de la cúpula tienen una disposición muy irregular, y su tamaño, proporciones y colocación variaran según las características geológicas de la zona. Se han identificado algunos subtipos dentro de la tipología, pero el más característico es el que presenta una cúpula de una sola hoja, construida de tal forma que quedan espacios entre las piedras que la componen, favoreciendo la ventilación del espacio interior y la captación de agua de lluvia, a la vez que se protege el agua de la evaporación a causa de la radiación solar (figura 3). La construcción siempre se encuentra asociada a una superficie de roca que se ha adecuado para conducir el agua de lluvia hasta el depósito del cocó por escorrentía.

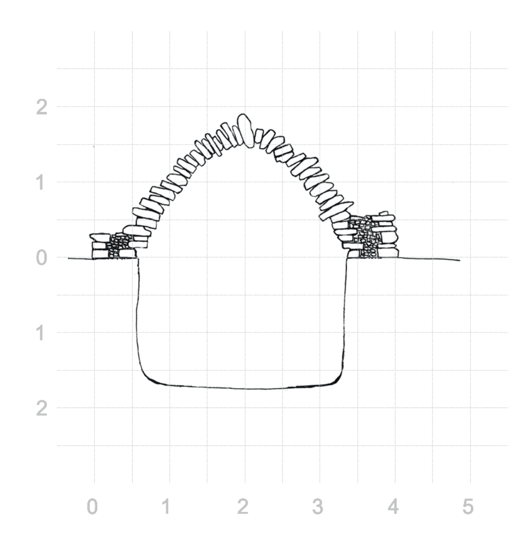


Figura 3
Sección constructiva del cocó 1 (de los autores)

El agua es un elemento indispensable y un bien muy escaso en zonas de secano. Por ello es habitual encontrar en el patrimonio de la piedra en seco diferentes elementos constructivos encargados asociados al almacenamiento de agua. El agua almacenada en zonas de secano se limita a la hidratación de personas y animales y la higiene. Así los cocons se encuentran siempre al lado de una casa, una choza o un refugio. A pesar de estar junto al río Ebro, en Tivenys se desarrolla una zona de secano ampliamente cultivada en la que se concentran un gran número de cocons. Según fuentes orales de la zona, se calcula que existen más de 200 cocons en buen estado, distribuidos por el término municipal.

Tivenys y su entorno son una zona con una alta densidad de construcciones de piedra en seco. Vinculado a este patrimonio existen numerosas publicaciones que abordan el estudio de las construcciones de piedra en seco de la provincia de Tarragona y Castellón desde diferentes disciplinas. Por ejemplo, encontramos estudios sobre las características del material en zonas específicas (Colombo, Franch yVilarrasa 2004), estudios desde el punto de vista estructural (Artigues et al. 2007), estudios sociológicos (Miralles, Montfort y Marin 2008) y la relación de los elementos de piedra seca para aprovechar los recursos naturales (Palomar y Sola 2008), u otros de carácter más generalistas de toda la provincia de Tarragona (Girones 1999) (Blay et al. 2007)

Entre las referencias consultadas no se han encontrado referencias específicas a la tipología de los cocons. A pesar de que el ámbito geográfico es el mismo, las especificidades de cada municipio, la tipología de la piedra, la herencia constructiva, y el contexto social y económico provocan una variedad de soluciones constructivas considerable.

Metodología

La metodología utilizada en el desarrollo de la investigación se estructura según las siguientes fases de trabajo: selección de la muestra de estudio, levantamiento fotogramétrico, generación de bases planimétricas, parametrización de las dimensiones principales y análisis estructural por medio de líneas de presión.

En primer lugar, se han seleccionado los casos de estudio. Se ha hecho un primer inventario de 50 construcciones (seleccionadas según parámetros de ubicación y facilidad de acceso, singularidad y estado de conservación) de entre las cuales se han seleccionado 10 para este primer estudio (figura 4). Los criterios de selección han sido el estado de conservación de los cocons, su singularidad, sus características formales y constructivas, su ubicación y la facilidad de acceso, siendo de gran importancia que no existieran alrededor elementos vegetales que dificultasen la toma de datos.

Una vez definida la muestra, el procedimiento para la obtención de la información topográfica se ha basado en la técnica fotogramétrica Structure From Motion, la cual permite obtener una nube de puntos detallada a partir de múltiples fotografías tomadas desde diferentes posiciones. El software utilizado es Agisoft Photoscann v.1.2.6.2834, el cual permite generar un modelo 3D texturizado del objeto de forma rápida, precisa y no invasiva.

La toma de datos consiste básicamente en la realización de las fotografías y en la toma de medidas directas de referencia. La cámara utilizada fue una Nikon D7000 y una lente TAMRON LD XR DI AF 17-50mm 67 a16 si. Además, se usó un jalón de 1 m para establecer la orientación y la escala métrica del modelo. Debido a las formas irregulares de los cocons, se establece como referencias generales a efec-



Figura 4
Muestra de los cocons estudiados (de los autores)

tos de escalado y orientación, la medida del jalón y del ancho de la puerta en la parte superior. Las principales características de los modelos obtenidos se resumen en la (tabla 1).

NOMBRE	número de fotos	número de puntos	número de caras
Cocó 1	67	6.984.530	329.018
Cocó 2	112	11.159.641	2.057.917
Cocó 3	55	8.098.161	484.886
Cocó 4	57	8.539.713	535.631
Cocó 5	55	6.164.556	408.216
Cocó 6	50	6.347.682	1.097.097
Cocó 7	50	5.678.709	234.034
Cocó 8	106	8.648.179	577.521
Cocó 9	110	13.126.098	2.625.211
Cocó 10	109	5.172.562	1.955.988

Tabla 1
Principales características de los modelos obtenidos (de los autores)

Una vez obtenido el modelo 3D, se exporta al programa Rhinoceros, con el que se obtienen las secciones bidimensionales de los objetos, las cuales finalmente se exportan a AutoCad para su redibujado y análisis.

El estudio dimensional tiene por objetivo establecer relaciones formales y proporcionales entre las construcciones, las cuales presentan unas características aparentemente dispares. Las formas irregulares de los cocons obligan a definir unos criterios comunes a la hora de tomar las medidas y simplificar el proceso para poderlo resolver con una operativa bidimensional.

Se establece una cota cero de referencia en la base de un elemento común, la obertura de cada cocó. El estudio se centrará únicamente en los elementos construidos por encima de esta cota. Las medidas se toman de las secciones bidimensionales en base a los ejes axiales que se definen a partir de la orienta-

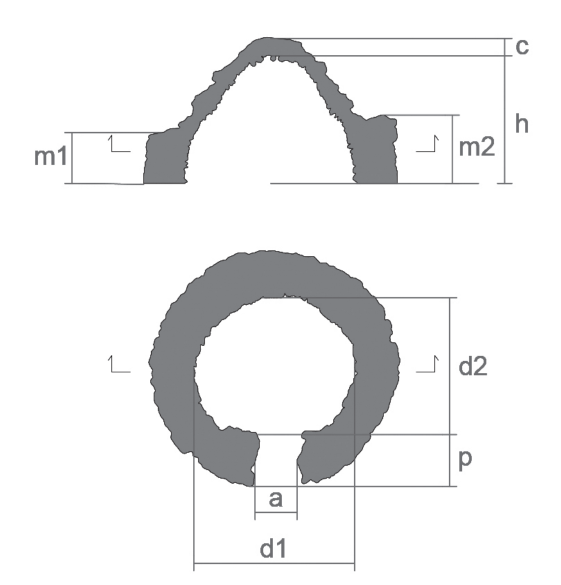


Figura 5
Esquema y nomenclatura de las medidas analizadas (de los autores)

ción de la obertura de cada construcción. Las dimensiones analizadas son: altura interior de la cúpula (h), altura del muro en cada lado de la sección (m1 y m2), grosor de la cúpula en la clave (c), diámetro interior en planta de cada eje axial (d1 y d2), ancho de la abertura (a) y profundidad del muro en la abertura (p) (figura 5).

El estudio de las condiciones de equilibrio se basa en la teoría del análisis límite para construcciones de obra de fábricas, cuya base teórica está ampliamente consolidada (Heyman 1995) (Huerta 2004). Dadas las peculiares características formales y constructivas de los cocons, en las que la cúpula se construye sin cimbra, pero sin disponer las piedras en voladizo con la junta horizontal, se ha optado por utilizar el cálculo por estática gráfica tradicional, realizado manualmente en entorno AutoCad. El objetivo es verificar si es posible encontrar una solución estable de la línea de presiones, es decir, que quede contenida en la sección, utilizando el clásico método de los cortes, o si es necesario considerar un comportamiento mecánico más próximo al de las falsas cúpulas.

Para caracterizar las cargas, la piedra ha sido el único material considerado. La piedra dominante en la zona es la caliza (Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya), por lo que el peso específico de referencia utilizado ha sido 22 kN/m^3 (CTE2010). Dado que las cúpulas son caladas, se ha rebajado el peso específico en un 10%, según el estudio dimensional de los huecos en los paramentos. Con esos parámetros nombrados se ha obtenido el peso total de cada una de las secciones de los cocons analizados (tabla 2).

Resultados

El estudio ha permitido parametrizar los principales valores dimensionales de la muestra de cocons analizada (tabla 3). Destaca el rango de alturas interiores

NOMBRE	Coordenadas UTM		a (m)	p (m)	c (m)	m1 (m)	m2 (m)	h (m)	d1 (m)	d2 (m)
Cocó 1	40.904239	0.556456	0,512	1,139	0,382	0,325	0,595	1,527	2,228	2,301
Cocó 2	40.903555	0.558806	0,877	1,090	0,466	1,117	1,395	2,613	3,433	2,747
Cocó 3	40.901374	0.557293	0,644	0,592	0,297	1,546	1,547	1,910	2,917	2,572
Cocó 4	40.900900	0.543872	0,887	0,497	0,186	1,17	1,135	2,396	1,982	2,045
Cocó 5	40.905579	0.519316	0,451	0,904	0,199	-	0,518	1,734	1,441	1,329
Cocó 6	40.905606	0.518813	0,397	0,658	0,327	-	-	1,230	1,839	1,548
Cocó 7	40.906459	0.521395	0,233	0,446	0,312	-	-	0,907	1,087	0,824
Cocó 8	40.9281370	0.5290020	0,396	1,086	0,63	1,05	1,17	2,028	2,063	2,075
Cocó 9	40.9282390	0.5313040	0,517	0,730	0,297	0,612	0,698	1,418	1,961	2,176
Cocó 10	40.9246340	0.5301710	0,504	0,952	0,359	1,03	0,894	1,593	1,573	1,709

Tabla 3
Dimensiones analizadas a partir de las secciones obtenidas de los modelos fotogramétricos (de los autores)

NOMBRE	volumen (m³)	peso (kN)
Cocó 1	0,13	1,44
Cocó 2	0,20	3,97
Cocó 3	0,50	9,97
Cocó 4	0,10	1,91
Cocó 5	0,05	1,00
Cocó 6	0,12	2,44
Cocó 7	0,09	1,84
Cocó 8	0,07	1,37
Cocó 9	0,07	1,36
Cocó 10	0,07	1,44

Tabla 2
Volumen y peso de las secciones analizadas obtenidas de los modelos fotogramétricos (de los autores)

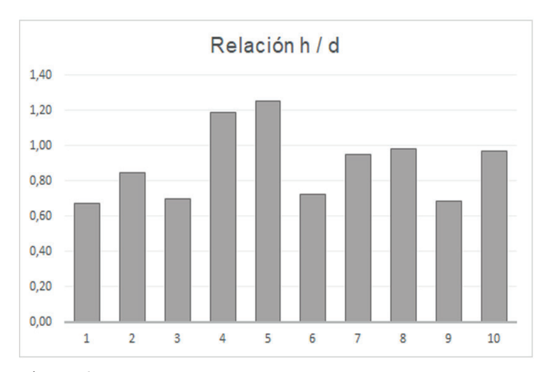


Figura 6
Relación entre la altura interior (h) y el diámetro interior medio (d) (de los autores)

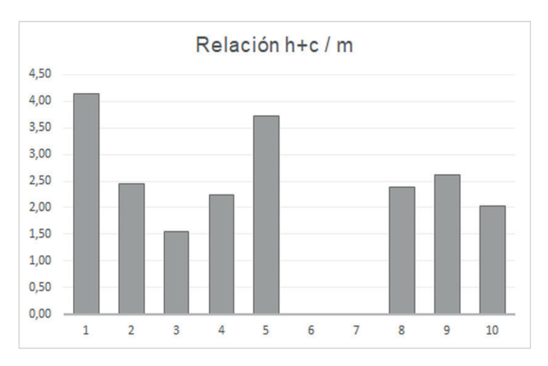


Figura 7
Relación entre la altura exterior de la cúpula (h+c) y la altura exterior del muro (media de m1 y m2) (de los autores)

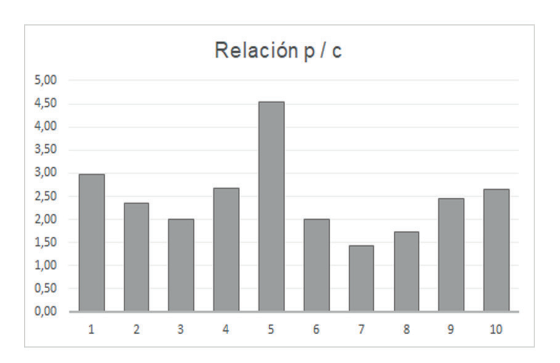


Figura 8
Relación entre el espesor del muro (p) y el espesor de la cúpula (c) (de los autores)

de las cúpulas obtenidos, con valores que oscilan entre 0,907 m y 2,613 m en los cocons 7 y 2 respectivamente. En cuanto al diámetro interior, se observa que la sección paralela a la obertura de acceso (d1) tiende a ser sensiblemente superior a la del correspondiente eje perpendicular (d2), siendo el rango de (d1) [1,087 m - 3,433 m], y el de (d2) [0,824 m – 2,747 m] para los cocons 7 y 2 respectivamente. También mencionar que el rango de alturas de los muros (en caso de haberlos) es de [0,325 m- 1,170 m] en los cocons 1 y 4 respectivamente.

Por otra parte, se ha estudiado la relación entre la altura interior (h) y el diámetro interior medio (d) (d= media aritmética entre (d1) y (d2)) (figura 6). Se comprueba que los cocons 4 y 5 son los únicos en los que se cumple que (h>d), mientras que los cocons [1, 3, 6, 9] son los que presentan una proporción más baja.

También se ha analizado la relación entre la altura exterior de la construcción (h+c) y la altura exterior del muro (m) (m= media aritmética entre (m1) y (m2)), exceptuando obviamente aquellos casos en que la cúpula arranca directamente desde el suelo (figura 7). En todos los casos. Los cocons 1 y 5 son los que guardan una relación de proporcionalidad con un muro más bajo, mientras que el cocó 3 es el que tiene un muro de mayor altura respecto a su altura total. También se ha comprobado que en todos los casos la altura de la cúpula es superior a la altura del muro.

Finalmente, también se ha estudiado la relación entre el espesor del muro (p) y el espesor de la cúpula (c) (figura 8), siendo el cocó 5 el que presenta

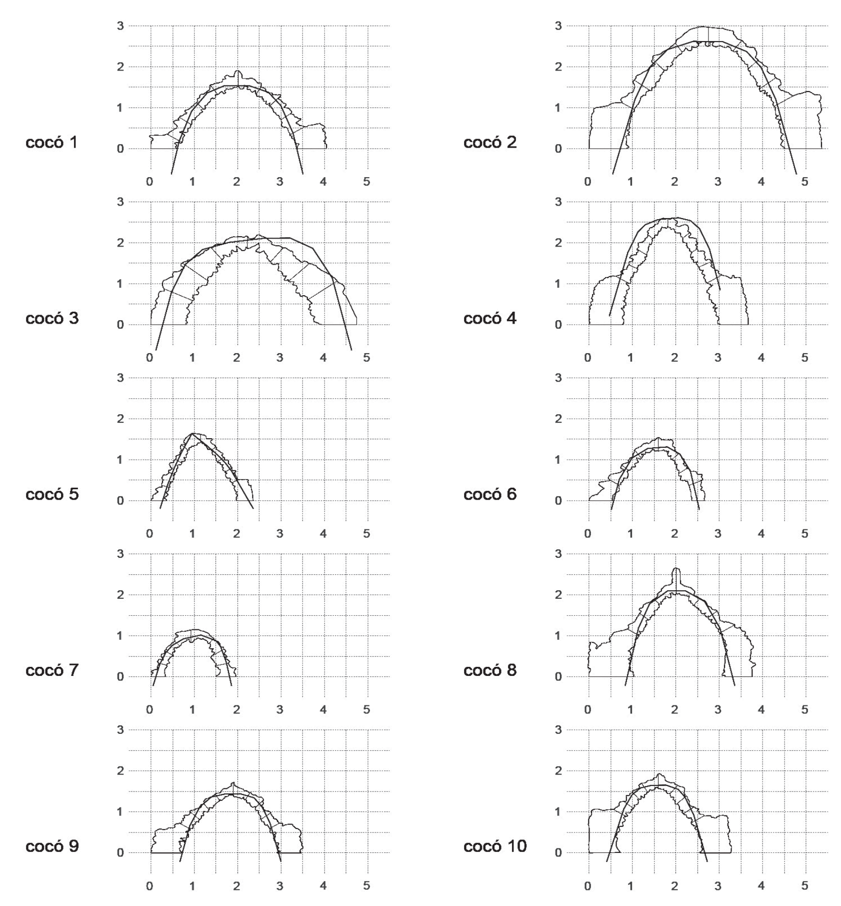


Figura 9
Líneas de presión obtenidas en los distintos cocons (de los autores)

una mayor desproporción entre ambos valores, con un muro aparentemente muy sobredimensionado, mientras que el cocó 7, el más pequeño de todos, mantiene una relación de proporcionalidad mucho más ajustada.

En cuanto al estudio de las condiciones de equilibrio por estática gráfica, en primer lugar, cabe destacar la importancia de la elección de los planos de corte utilizados, tanto en vertical como en horizontal. El poco espesor de la sección constructiva y una disposición de las piezas calada y con la junta inclinada para favorecer la ventilación y la recogida de agua de lluvia, hace que la superficie de contacto entre las piedras sea en muchos casos la mínima para dar estabilidad a la estructura. Los resultados obtenidos sugieren profundizar en el cálculo según las características constructivas de cada cocó en futuras investigaciones. Según los primeros tanteos realizados, se definen unos cortes radiales en planta cuyo lado más ancho mide 20 cm.

Desde un punto de vista cualitativo, los resultados obtenidos (Figura 9) se valoran según el teorema del límite inferior, según el cual si es posible encontrar una línea de presiones (LDP) contenida en la sección, la estructura podrá considerarse estable. Así, tenemos cocons en los que ha sido posible trazar una LDP dentro de la sección, cocons en los que no ha sido posible trazar una LDP contenida en la sección, y un tercer grupo de cocons en los que podríamos considerar que la LDP queda tangente al lí-

mite de la sección, ya que, si bien en estos casos en algún punto queda ligeramente por fuera, hay que tener en cuenta que la disposición de las piedras es muy irregular, y que desplazando solo unos centímetros el plano de corte pueden aparecer variaciones de varios centímetros en la sección representada. Por lo tanto, se consideran también soluciones estables aquellas en las que se ha obtenido una LDP de estas características.

Así, en los cocons [2, 5, 7 y 10] ha sido posible trazar una LDP contenida en la sección, así como también, aunque con más dificultad, en los cocons [1, 6, 8 y 9]. Finalmente, en los cocons [3 y 4] no ha sido posible trazar una LDP contenida en la sección.

Discusión y conclusiones

La investigación desarrollada supone la primera aproximación analítica a las construcciones de piedra en seco conocidas como cocons. Situadas en un área geográfica muy concreta, estas estructuras presentan unas características constructivas singulares, las cuales las sitúan tipológicamente entre las estructuras típicamente cupuliformes y aquellas conocidas comúnmente como falsas cúpulas, las cuales se caracterizan por un sistema constructivo basado en la aproximación de hiladas, situando progresivamente las piedras en voladizo hasta cerrar el espacio. La principal ventaja de este sistema es la supresión de empujes y la posibilidad de construir sin cimbra.

El estudio dimensional ha permitido establecer algunas relaciones dimensionales entre las diferentes partes que componen un cocó, constatando el potencial del estudio tipológico ampliando el número de casos de estudio para obtener resultados más concluyentes. Debido a la gran irregularidad de formas que presentan, también cabe plantearse el profundizar en la parametrización formal a partir de la base 3D. Así, los resultados obtenidos establecen una primera referencia para futuras investigaciones, estableciendo sub-categorías dentro de la tipología constructiva.

En cuanto al estudio de las condiciones de equilibrio a partir de LDP, ha sido posible trazar al menos una línea de presión contenida en la sección en la mayoría de los cocons. Éste hecho, junto a los testimonios orales que afirman el colapso de estas estructuras en el momento en que se retira la piedra clave, indican la existencia de empujes horizontales en la mayoría de casos.

Cabe destacar la gran dificultad que ha implicado conseguir trazar la mayoría de LDP dentro de la sección, hecho que nos indica el delicado equilibrio que guardan estas construcciones, que por otra parte, están en pie desde finales del siglo XVIII.

En cuanto a los cocons 3 y 4, en los que no ha sido posible encontrar una solución estable, se trata de dos casos con características formales y constructivas muy distintas. El cocó 3 presenta una proporción mucho más baja que el resto, y una disposición de las piedras que, junto a los resultados obtenidos, indica que se trata de una falsa cúpula. En cuanto al cocó 4, se trata de una construcción con una proporción mucho más esbelta, muy similar en proporciones al cocó 5, pero con una cúpula más delgada. En ambos casos, cabría plantear otras aproximaciones de cálculo, para explicar su estabilidad.

Futuras investigaciones profundizaran en el análisis estructural aplicando metodologías que permitan aproximar el comportamiento tridimensional de las estructuras, posiblemente tomando como referencia los estudios existentes sobre falsas cúpulas, así como también se tendrá que profundizar en el estudio de la colocación de las piedras y de la sección constructiva, y finalmente, en la sistematización de una metodología que permita analizar formalmente las construcciones explotando el potencial de la base topográfica en tres dimensiones.

Lista de referencias

Ariguas, R; Bargalló, E; Camps, A. et al. 2007. Barraques de pedra seca a Mont-roig del Camp. *Cossetania edicions*.

Barroso, C E; Barros, F C; Riveiro, B y Oliveira, D V. 2018. The construction of the transhumance territory of the Gerês-Xurés: Vernacular heritage identification, analysis and charecterization. *Rehabend 2018 construction pathology, tehabilitation technology and heritage management*.

Benvenuto, E. y Corradi, M. 1987.La statica delle false volte, in Architettura in pietra a secco. *Schena Editori*, 93-106.

Blay, J. et al. 2007. Pedra seca a les comarques de Tarragona, patrimoni i Paisatge. *Diputaci*ó de Tarragona.

Block, P. y Lachauer, L. 2014.Three-dimensional (3D) equilibrium analysis of gothic masonry vaults. *International Journal of Architectural Heritage 8*, 312-335.

Block, P. y Ochsendorf, J. 2006. Thrust network analysis: a new methodology for three-dimensional equilibrium. *Journal of the IASS 48(3),* 167-173.

Cocó .n.d. *Diccionari català-valencià balear*. Recuperado de https://dcvb.iec.cat/results.asp.

Código Técnico de la Construcción. 2010. *Catálogo de elementos constructivos del CTE*.

Colombo, F; Franch, M. y Vilarrasa, A. 2004. La pedra de Calar de la Fatarella. *Fundació el Solà*.

Foti, P; Fraddosio, A; Lepore, N. y Piccioni, M D. 2016. On the mechanics of "false vaults": new analytical and computational approaches. *3r International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering*.

García, M. y Zaragozá, A. 2000. Arquitectura rural primitiva en seca.*Universidad Politécnica de Valencia.*

Gironès, J. 1999. L'art de la pedra en sec a la comarques de Tarragona. *Diputació de Tarragona*.

Heyman, J. 1995. El esqueleto de piedra. *Instituto Juan Herrera*.

Huerta, S. 2004. Arcos bovedas y cúpulas. *Instituto Juan Herrera Lamparez V (1922). La arquitectura civil española de los siglos I al XVII (Vol.1). Calleja, S.* , 83-84

Wanda, Lau. ; Ochsendorf, J. y Zessin, J. 2010. Equilibrium of cracked masonry domes. *Proceedings of the ICE - Engineering and Computational Mechanics 163*, 135–145.

Miralles, F. ; Montfort, J. y Marin, M. 2008. Els homens i les pedres. *Ajuntament Reial Vila de Vilafranca*.

Palomar, S. y Solà, M. 2008. L'aprofitament de l'aigua. Arquitectura popular a Montsant. *Parc Natural de la Serra de Montsant*.

Restuccia, F.; Fianchino, C.; Galizia, M. y Santagati, C. 2012. The stone landscape of the Hyblaen Mountains: the geometry, structure, shape and natureof the muragghio.

Rovero, L. y Tonietti, U. 2014.A modified corbelling theory for domes with horizontal layers. *Construction and Building Materials 50*, 50-61.

Rossi, G. y Leserri, M. 2013. Arquitecturas de piedra seca, un levantamiento problemático. *Expresión gráfica arquitectónica*, 184-195

Rubió, J.1914. Construccions de pedra en sec.*Asociación Arquitectos de Cataluña*,Anuario1914.

Todisco, L.; Sanitate, G. y Lacorte, G. 2016. Geometry and Proportions of the Traditional Trulli of Alberobello. *Nexus Network Journal*.

Torres, L. 1933. La vivienda popular en España. *Martón A*, 217-221.

UNESCO. 2018. Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage 2018.

Vegas, F.; Mileto, C. y Cristini, V. 2010. Corbelling domes and bridges in Spain and Portugal: a comparative studi. *6th International Conference on Arch Bridges*.

La escalera del Palacio Persico en Nápoles: análisis geométrico, constructivo y mecánico

Concetta Cusano
Claudia Cennamo
Vincenzo Cirillo
Ornella Zerlenga

El objeto de estudio del presente trabajo es la escalera del Palacio Persico en Nápoles, un ejemplo de experimentación formal y estructural inusual que acompaña el panorama de las escaleras del siglo XVIII napolitano. Se trata de una escalera que llama la atención con un sistema estructural en voladizo y con un esquema planimétrico que consiste en un cuadrado girado 45° con los vértices redondeados por arcos circunferenciales a lo largo de cuyos lados se colocan las rampas. Esta sencilla configuración espacial del cuadrado colocado de punta hacia el patio genera un notable dinamismo de las rampas perceptibles tanto desde el arco en la planta baja como desde el jardín a través de los huecos. El intradós de las rampas se resuelven con «bóvedas romanas» y los rellanos están cubiertos por uñas esferoidales con poca flecha. La fachada curvilínea sigue la convexidad del rellano, asumiendo una configuración espacial cilíndrica; los arcos que se abren al patio están sesgados, así como los arcos de las uñas esferoidales, que se colocan en las paredes curvilíneas de la esquina de la jaula. Los objetivos específicos de este trabajo han sido, por una parte la definición geométrica y constructiva de la escalera y por otra parte la definición de su funcionamiento estructural y mecánico. En particular, el aspecto interesante de la investigación se configura en su interdisciplinariedad, con el objectivo de valorar la estrecha relación entre geometría y estabilidad en las estructuras de fábrica que constituyen el patrimonio histórico. Es decir, contribuir al conocimiento de la geometría en que esta escalera se construyó y explicar el proceso de diseño que siguieron los maestros de cantería. Ademas, el artículo se centra en estudiar el comportamiento estructural de la escalera dentro del marco teórico del Análisis Límite y en demostrar su equilibrio estático.

Las escaleras en el panorama napolitano del siglo XVIII

El diseño de las escaleras es uno de los capítulos más significativos en la historia de la arquitectura y, en un contexto disciplinario, de representación tanto para los significados culturales como científicos (por ejemplo, para la elección de los métodos de visualización de los cuales la representación está llena), y para el valor fundamental de la imagen y la cultura de la forma (desde el simbolismo de la forma hasta su construcción geométrica en el papel y en el espacio), tanto por el carácter pragmático como por la dinámica operativa (como el corte de las piedras, a equipos de cantería y materiales).

En este sentido, debido a la complejidad del tema, se puede decir que el diseño de las escaleras subyace a una ética de diseño que combina hábilmente el espacio del diseño y el diseño del espacio y, en un sentido más amplio, la cultura del diseño y la cultura del dibujo (Zerlenga 2017).

Desde el punto de vista del diseño, la arquitectura de las escaleras contiene múltiples mensajes y op-

ciones programáticas que van desde el acto esencial inherente a la función de «subir», a la riqueza de los temas compositivos de la forma espacial, la interpretación en clave iconológica de la forma, y el valor psicológico de la escalera que, como artefacto material, asume desde la antigüedad un valor de «arquitectura dinámica», capaz de crear sensaciones de grandeza, hasta ser un verdadero espacio representativo de la arquitectura (Cirillo 2019).

Desde el punto de vista disciplinario, el examen del tema de conocimiento de los «modelos» y «formas» de la escalera confirma el diseño como un campo de revelación de la ciencia de la representación en el que se puede reconocer en el dibujo la fuerza predominante del estímulo y la creatividad en su articulación metodológica. También se pueden identificar aquellas vías cognitivas de la imagen que a través del uso de criterios geométricos regulan una forma espacial (Cirillo 2018).

Las escaleras abiertas del siglo XVIII son un evento urbano y arquitectónico de asombro inusual y encuentran en la ciudad de Nápoles ejemplos magistrales de experimentación formal y estructural sin precedentes. Estos últimos, durante el siglo XVIII, en vez de ser concebidos como elementos incidentales establecidos en el lado del patio, se colocan en una posición central y prominente para convertirse en elementos arquitectónicos autónomos (Zerlenga, 2014).

En este artículo examinaremos la escalera del Palacio Persico (del arquitecto napolitano Ferdinando Sanfelice) elegido por su peculiar valor urbano, espacial y constructivo. Específicamente, se ilustrará aquí la matriz geométrica y configurativa del modelo «en voladizo». Esta compleja realidad arquitectónica se manifiesta a través de un viaje dinámico de rampas abovedadas y una percepción siempre diferente de los puntos de vista, luces y sombras.

Incluso en el cumplimiento de su función arquitectónica principal (la conexión vertical entre los diferentes pisos de un edificio), la escalera abierta napolitana es un espacio representativo que está costituido por varios factores. Esta condición encuentra una razón predominante en la pequeña seccion de las calles con la consiguiente imposibilidad de hacer un proyecto de diseño sobre la fachada que se pueda ver desde abajo. Por lo tanto, en el programa de calificación expresiva de la residencia, el portal y la escalera asumen una tarea de atracción como una escenografía real donde el portal actúa como un proscenio y el cuerpo de la escalera como fondo (Pane 1939).

Análisis geométrico y configurativo de la escalera de Palacio Persico

En Nápoles, hay diferentes escaleras caracterizadas por la investigación de diseño de una espacialidad interna sugerente e intensa que no se manifiesta en la parte exterior. Un buen ejemplos son las escaleras de los palacios nobles de Palmarice y di Majo (figura 1).

Los diseños de estas escaleras revisitan el modelo de la escalera «anular» (Sanjurjo Álvarez 2010) donde los peldaños están «en voladizo» y, unidos a las paredes laterales, dejan un vacío central llamado «pozo» ya codificado por Palladio en su Tratado *I Quattro libri dell'Architettura*. Este modelo vive en una intensa espacialidad «introvertida» interna y recogida. A medida que bajas la escalera, gradualmente se revela con sorpresa, deteniendo el ascenso en vistas pequeñas que dan al patio.

Se accede a la escalera del Palacio Persico a través de un arco casi en línea con el patio y el vestíbulo. El plano de la escalera es un cuadrado girado 45° con



Figura 1
A) Palacio Palmarice; B) Palacio di Majo (Fotos: Vincenzo Cirillo)



Figura 2
La escalera del Palacio Persico: vista desde abajo sobre el pozo central (Foto: Vincenzo Cirillo)

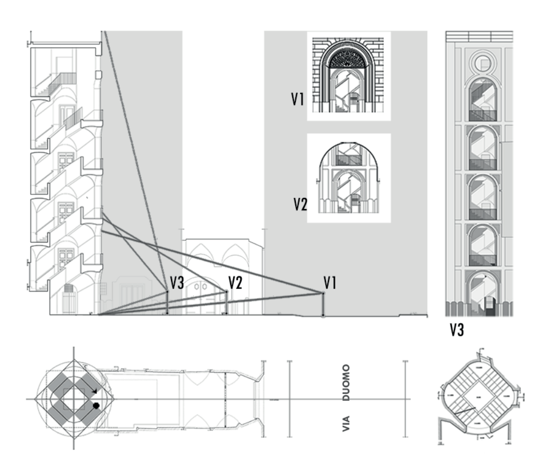


Figura 3
Análisis geométrico y configurativo de la escalera del Palacio Persico (dibujo de Vincenzo Cirillo)

los vértices redondeados por un cuarto de círculo, las rampas a lo largo de las direcciones laterales, los descansillos de forma triangular y el pozo central de forma cuadrada, también toteado de 45° (figura 2).

Esta condición no es insignificante ya que, al colocarse en la punta del patio, la escalera genera un dinamismo inusual de las rampas que puede percibirse tanto desde el arco en la planta baja como desde las aberturas en los distintos pisos. El intrados de las rampas se resuelve con bóvedas. El intradós y los descansillos están cubiertos respectivamente por bóvedas a la romana y triángulos esféricos o husos esferoidales muy deprimidos.

La escalera del palacio Persico presenta un diseño geométrico elemental (figura 3), pero el resultado es espectacular, no solo por el dinamismo de la rotación de 45°, también por la contribución de la luz natural, que penetra desde los arcos abiertos en el patio y, en el último piso, de un ojo circular. Al final, en el palacio de Persico, la fachada sigue la convexidad del rellano, asumiendo una configuración espacial cilíndrica y no plana. La fachada curvilínea está conectada con los lados del patio, solución espacial introducida por el arquitecto Ferdinando Sanfelice. Como resultado, los arcos que se abren al patio de Palacio Persico están sesgados, al igual que los arcos de las uñas esferoidales, que establecen las esquinas curvas de las paredes (figura 3).

Descripción compositiva de la escalera y la forma de los descansillos como solución de conexión entre las bóvedas: tradición constructiva en Nápoles

El sistema abovedado de los numerosos ejemplos de escaleras abiertas napolitanas consiste en el uso de los principales elementos de soporte estructural: arcos y bóvedas. Este sistema tiene la tarea de cubrir un espacio «oblicuo», subrayando el enlace dialéctico entre forma y estructura. En el caso de las escaleras napolitanas del siglo XVIII, este espacio dinámico de relación determina impactos visuales múltiples y diferentes, como por ejemplo, para hacer que el dibujo de diseño de cada uno de estos sistemas espaciales sea un evento especial y único incluso en la recurrencia de algunos elementos (di Luggo 2010).

El análisis de los sistemas abovedados en uso en la tradición local, tanto desde un punto de vista formal como estructural, arroja soluciones tipológicas comunes, pero de manera diversa en relación con la diversidad y complejidad de las plantas. Los materiales utilizados, su instalación y la técnica constructiva

adoptada son similares en arcos y bóvedas. En cambio, difieren en la morfología de cada elemento individual en relación con la estructura espacial de la escalera. La escalera del Palacio Persico está rodeada por muros perimetrales que soportan las rampas.

En las tradiciones de los siglos XV y XVI, los muros de carga están flanqueados por un elemento de soporte adicional, ubicado en el centro de la escalera y llamado mampostería. En consecuencia, este doble soporte representó la ocasión para utilizar la bóveda de cañón rampante para apoyar las rampas con la consiguiente descarga de las fuerzas, en un lado hacia los muros perimetrales y, en el otro, hacia la mampostería. Para el apoyo de los desembarcos, en cambio, en la mayoría de los casos se ve el uso de bóvedas de vela (figura 4).

En el modelo de la escalera del siglo XVIII del Palacio Persico, la mampostería deja espacio para el pozo central; en consecuencia, la bóveda de cañón pierde uno de los dos elementos de soporte. En virtud de esto, este último, para insistir en una configuración espacial con un pozo libre, aparece geométricamente truncado a lo largo de la generatriz central produciendo una rampa de bóveda de medio cañón el tipo extendido en la bóveda romana del sur (Donghi 1925). De esta manera, las fuerzas se descargan dentro de los muros perimetrales. Una opción aún más atrevida consiste en utilizar únicamente peldaños alojados en la pared de carga o unidos entre ellos sin ningún tipo de soporte en la parte inferior. Estas soluciones están ilustradas por Palladio en algunos de los modelos de escaleras descritos en su tratado *I Quattro libri dell'Architettura*. En Nápoles, en cambio, la configuración autoportante aparece gracias a la implementación de un diseño estructural audaz introducido por Ferdinando Sanfelice (1675-1748).

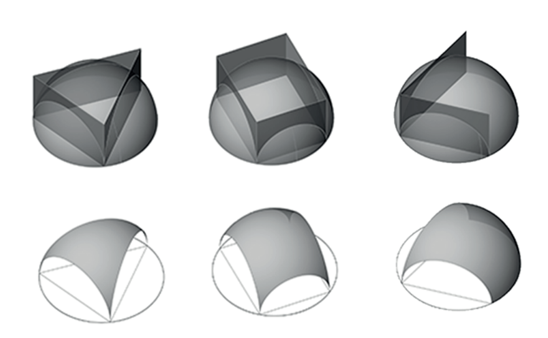


Figura 4
La génesis geométrica de las diferentes declinaciones de las bóvedas de vela en relación con el número de cortes de la cúpula esférica o elipsoidal desde los planos verticales (dibujo de Vincenzo Cirillo)

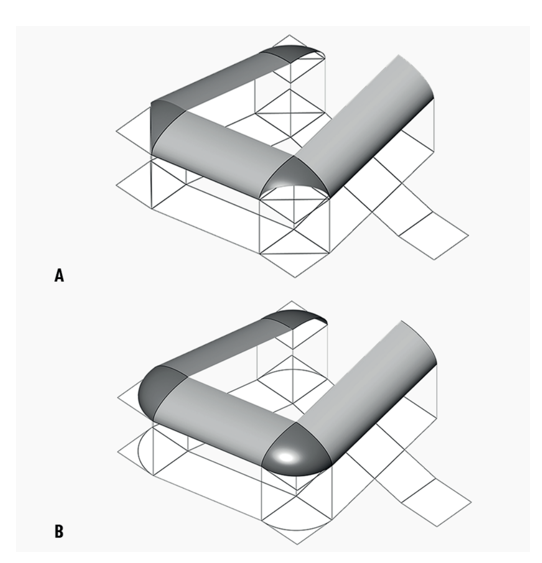


Figura 5
A) Visualización del modelo de pozo con triángulo esférico sobre los descansillos; B) con huso esferoidal (dibujo de Vincenzo Cirillo)

Una peculiaridad del lenguaje figurativo de la escalera del palacio Persico es el redondeo de ángulos rectos en planta. En este caso, los descansillos de forma triangular, que están formados por superficies triangulares, se denominan triángulos esféricos (figura 5).

Al analizar las posibles configuraciones estructurales de los descansillos sobre una base de forma cuadrada, se describen varias soluciones espaciales. La primera es aquella en la que los generadores de las bóvedas rampantes se extienden al tamaño máximo de los muros perimetrales en los rellanos. En este caso, la conexión hubiera sido imposible debido a la diferente inclinación de las líneas de pendiente (Cirillo, 2019). En este sentido, explica la necesidad de detener el desarrollo de rampantes cerca de los descansillos y identificar soluciones que permitan la conexión a través de arcos de la misma forma y tamaño. También en este caso se utiliza un plan de



Figura 6
Ejemplo de equipo de escalera a pozo (Formenti 1895)

impostas horizontal por encima de los descansillos, mientras las bóvedas rampantes están situadas por encima de los tramos inclinados de las escaleras.

Para concluir, se debe enfatizar que estas soluciones, aunque se refieren a los comportamientos estáticos de modelos de bóvedas notables en una base cuadrada o circular y arcos circulares, prefieren soluciones de varios arcos poligonales y bajos. La razón se puede identificar en la necesidad de adaptarse a los reservorios planimétricos existentes y/o a los requisitos altimétricos que no permiten la aplicación de modelos canónicos aunque sean siempre figuras geométricas elementales o simplemente en la razón constructiva (figura 6) (Formenti 1895).

Análisis mecánico. Marco teórico

Uno de los aspectos fundamentales de esta investigación se refiere a una cuestión puramente estructural de cómo se sostienen este tipo de escaleras. El trabajo actual aborda el estudio dentro del marco teórico del Análisis Límite aplicado por Heyman a las estructuras de fábrica y demuestra su equilibrio estático.

Como es bien sabido, el equilibrio se consigue a través de la geometría y de esta manera se pueden realizar construcciones de fábrica seguras (Huerta 2005). Efectivamente, como se ha explicado hasta aquí, antes de tratar el análisis mecánico propiamente dicho, el proceso estructural se ha definido desde diferentes puntos de vista, entrelazando aspectos formales, materiales y espaciales. La definición formal se refiere a su configuración geométrica, mientras que la material y la espacial se refiere a los elementos que la componen y a la relación existente entre ellas (Ares 2007).

El objetivo del trabajo es obtener una solución de equilibrio que, siendo compatible con las cargas, no viole la condición límite del material. Para el análisis estructural, la fábrica puede caracterizarse por tres hipótesis principales (Heyman 1999): la fábrica no tiene resistencia a tracción; la fábrica tiene una resistencia a compresión ilimitada; no es posible el fallo por deslizamiento.

Se han tenido en cuenta estos principios del Análisis Límite y, aplicando el Teorema de la Seguridad, se ha realizado un análisis estático gráfico. Entre los infinitos estados de equilibrio, se ha buscado una solucción representada por una línea de empujes, o mejor dicho, por superficies de empujes siendo la escalera una estructura tridimensional (Cusano 2019).

Estudio del comportamiento estructural de la escalera de Palacio Persico

El sistema abovedado de los numerosos ejemplos de escaleras abiertas napolitanas consiste en el uso de los principales elementos de soporte estructural, como arcos y bóvedas, que enfatizan la estrecha relación dialéctica entre forma y estructura. Por lo tanto, el análisis del espacio abovedado se realiza en relación a los parámetros funcionales, materiales y de construcción dentro de la articulación de la figura arquitectónica (Cennamo, Cusano y Angelillo 2018).

El análisis estructural de la escalera del Palacio Persico en Nápoles, se lleva a cabo con el objetivo principal de demostrar su equilibrio estático y propone una interpretación del comportamiento estático a través de simplificaciones que facilitan su estudio.

Las rampas del Palacio en cuestión están en voladizo desde los muros y conectados por pequeñas bóvedas que constituyen los descansillos, como es común en estas escaleras abovedadas de fábrica. La sección de la bóveda tienes extremos laterales incapaces de soportar cargas verticales pero son rígidos en dirección longitudinal. En línea con los estudios desarrollados por Como (2013), este sistema constituido por un única rampa con dos lados fijados hori-

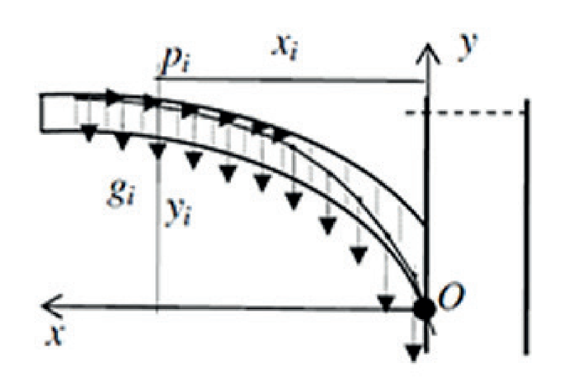


Figura 7
Generación de la carga torsional en las secciones transversales de la bóveda (Como 2013, 391)

zontalmente, un lado longitudinal fijado a una pared límite rígida, no puede deformarse por un mecanismo. No se permite la compenetración de mampostería, por lo que sólo se producen tensiones de compresión.

Entonces, en lugar del modelo en voladizo, en el que la transmisión de las cargas se produce por flexión y corte en el sentido transversal, se imagina la transmisión de las cargas longitudinales capaz de movilizar arcos longitudinales resistentes (Figura 7).

Para sostener esta acción se puede asumir que en la rampa se formarán un sistema resistente compuesto por una serie de arcos longitudinales planos (contenidos en la bóveda a lo largo de planos horizontales) que transmiten sus empujes a la intersección del borde libre de la rampa con los descansillos y una serie de semiarcos verticales transversales que transmiten las cargas verticales a la pared lateral longitudinal (Figura 8).

El punto de partida ha sido subdividir el perfil de la sección en un número determinado de dovelas y, a continuación, evaluar los pesos p_i correspondientes. En la figura 9, el cálculo gráfico del empuje horizontal *H* y el equilibrio de la sección transversal de la bóveda.

El peso de la rampa debe ser soportado por la pared en la que está empotrada; la aportación de los descansillos intermedios, formados por bóvedas, es de hecho despreciable en comparación con la que ofrece el muro. Por lo tanto, se puede suponer que el peso de la rampa se transmite enteramente a la pared.

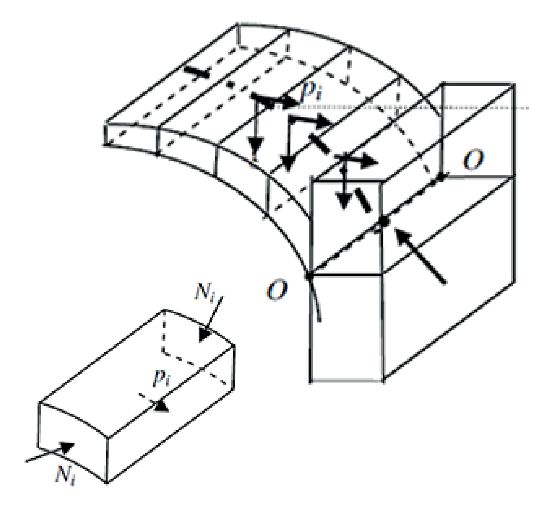


Figura 8
Parte de una rampa subdividida en dovelas, con las fuerzas horizontales que actúan transmitidas por los arcos longitudinales y la correspondiente línea de empuje (Como 2013, 392)

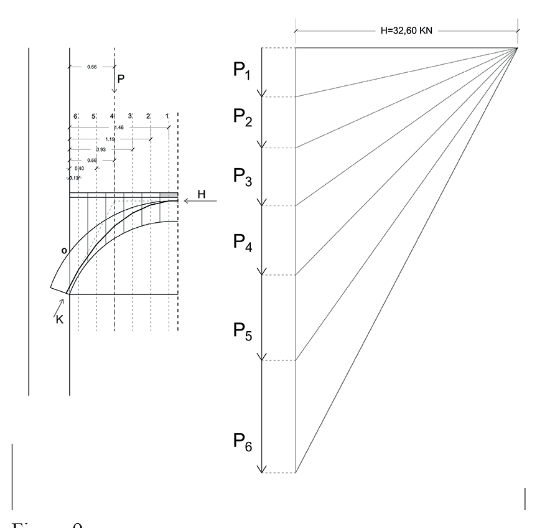


Figura 9
El equilibrio de la sección transversal de la bóveda. Cálculo gráfico del empuje horizontal H (Concetta Cusano)

Conclusiones

El estudio arquitectónico realizado sobre la escalera actual del Palacio Persico[1] (realizado científicamente por la profesora Ornella Zerlenga y Vincenzo Cirillo) ha puesto de relieve las características formales por analogías y diferencias en el panorama de las escaleras napolitanas a través de una lectura crítica en clave geométrica-configurativa. Además, los propios resultados de la investigación han mostrado una inclinación constructiva napolitana en la creación de imágenes espaciales de maravillosa arquitectura, atrevidas e inéditas, como las escaleras, generadas por la hábil manipulación de modelos geométricos elementales cuidadosamente contextualizados a los lugares, tanto con ocasión de proyectos ex-novo como de reconversiones, y en los que se aprecian las cualidades visuales y perceptivas de la arquitectura de los espacios.

Para quien esté acostumbrado a trabajar en estructuras de hormigón armado, las escaleras de fábrica en voladizo dan la impresión de una inestabilidad estática extrema. Desde esta perspectiva, la existencia de estados de equilibrio admisibles bajo carga puede parecer paradójica. Sin duda hay dificultades para formular un modelo estático coherente para estas escaleras teniendo en cuenta la gran incapacidad de la fábrica para soportar las solicitaciones por tracción (Cennamo, Angelillo y Cusano 2017).

La estabilidad de las estructuras históricas de fábrica, como arcos y bóvedas, depende únicamente de su geometría funicular, para resistir las fuerzas que actúan sobre ellas (Cusano y Cennamo 2018). De hecho, es precisamente la geometría la que determina la capacidad de soportar cargas estáticas (y dinámicas).

Notas

1. En este artículo el apartado de *Las escaleras en el panorama napolitano del siglo XVIII* ha sido desarrollado por Ornella Zerlenga; *Análisis geométrico y configurativo de la escalera de palacio Persico* y *Descripción compositiva de la escalera y la forma de los descansillos como solución de conexión entre las bóvedas: tradición constructiva en Nápoles* por Vincenzo Cirillo; *Análisis mecánico. Marco teórico* y *Estudio del comportamiento estructural de la escalera de palacio Persico* por Claudia Cennamo y Concetta Cusano.

Lista de referencias

Cennamo, Claudia, Maurizio Angelillo y Concetta Cusano. 2017. The Neoclassical dome of San Francesco di Paola in Naples. A study on form and stability. En *Proc. of the XXIII Conference of the Italian Association of Theoretical and Applied Mechanics* (AIMETA), Salerno, Italy, 1396-1405.

Cennamo, Claudia, Concetta Cusano y Maurizio Angelillo. 2018. On the statics of large domes: a static and kinematic approach for San Francesco di Paola in Naples. En *Proc. of the 10th International Masonry Conference,* editado por G. Milani, A. Taliercio y S. Garrity.

Cirillo, Vincenzo. 2018. La rappresentazione della scala nella trattatistica italiana dal XVI al XVIII secolo. The Representation of Staircases in Italian Treatises from the Sixteenth to Eighteenth Centuries. *Diségno,* 3: 177-188.

Cirillo, Vincenzo. 2019. *Riflessioni e suggestioni fra geometria e forma. Le scale del '700 napoletano*. Tesi di Dottorato (XXXI ciclo) in Architettura, Disegno Industriale e Beni Culturali. Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli. Tutor: Ornella Zerlenga; co-tutor: José Calvo-López.

Como, Mario. 2013. *Statics of Historic Masonry Constructions*. Springer Series in *Solid and Structural Mechanics.* Berlín: Springer.

Cusano, Concetta y Claudia Cennamo. 2018. The gothic arcade of Santa Maria Incoronata in Naples. Equilibrium of gothic arches. *International Journal of Masonry Research and Innovation* (IJMRI), 3 (2): 92–107.

Cusano, Concetta. 2019. *La cupola di San Francesco di Paola. Geometria, costruzione e stabilità nel progetto di cupole nella prima metà del XIX secolo*. Tesi di Dottorato (XXXI ciclo) in Architettura, Disegno Industriale e Beni Culturali. Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli. Tutor: Claudia Cennamo; co-tutor: Santiago Huerta Fernández.

Di Luggo, Antonella. 2010. Struttura e forma: le superfici voltate nelle scale aperte napoletane. En *Disegnare il tempo e l'armonia*, 394-399. Florencia: Alinea Editrice.

Donghi, Daniele. 1925. *Manuale dell'architetto.* Turín: Unione Tipografico-Editrice Torinese.

Formenti, Carlo. 1895. *La pratica del fabbricare*. Milán: Ulrico Hoelpi.

García Ares, José Antonio. 2007. Un enfoque para el análisis límite de las escaleras de fábrica helicoidales. En *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Burgos, 7-9 junio de 2007, vol. 1, 335-343. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Heyman, Jacques. 1999. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera/CEHOPU. (Traducción del la ed. inglesa: 1995.

The Stone Skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture. Cambridge: Cambridge University Press).

Huerta, Santiago. 2005. Mecánica de las bóvedas de fábrica: el enfoque del equilibrio. *Informes de la Construcción*, 56 (496), 73-89.

Pane, Roberto. 1939. *Architettura dell'età barocca in Napoli*. Nápoles: Editrice Politecnica.

Sanjurjo Álvarez, A. 2010. Otra mirada a la historia de la construcción de nuestras catedrales: los caracoles de piedra y su evolución. *SEMATA, Ciencias Sociais e Humanidades*, 22: 555-566.

Zerlenga, Ornella. 2014. Staircases as a representative space of architecture. En *Best practise in Heritage Conservation Management from the world to Pompeii. Le vie dei Mercanti, XII Forum Internazionale di Studi*, Aversa-Capri 12-14 junio 2014, Nápoles, 1632-1642.

Zerlenga, Ornella. 2017. Disegnare le ragioni dello spazio costruito. Le scale aperte del '700 napoletano. Drawing the Reasons of Constructed Space. Eighteenth-Century Neapolitan Open Staircases. *Diségno,* 1: 45-56.

Epidermis de hormigón. Fisac y el edificio IBM

Ramón V. Díaz del Campo Martín-Mantero

Miguel Fisac Serna (Daimiel, 1913–Madrid, 2006) fue uno de los personajes imprescindible de la historia de la arquitectura española del siglo XX. Rastreando sus 93 años de vida nos encontramos con un arquitecto complejo y poliédrico con una intensa carrera llena de éxitos y controversias. Durante la década de los cincuenta sus obras fueron reproducidas en revistas y publicaciones como ejemplo de una modernidad acorde con un país que dejaba atrás los duros años de la Autarquía. En la década de los sesenta podemos apreciar un lenguaje muy personal en su obra, mostrando un especial interés en estudiar las posibilidades del hormigón que se convirtió en el material de la mayoría de sus proyectos. Durante años el arquitecto realizó una serie de ensayos que dieron lugar a toda una serie de piezas pretensadas y postensadas que él bautizó con el nombre de «huesos». Del estudio de Fisac, en colaboración con Ricardo Barredo, Fernando Cassinello y Vicente Peiró, salieron más de una docena de piezas que se usaron en varios de sus edificios. El arquitecto patentó varias de estas soluciones convirtiéndose en unos de los protagonistas de la prefabricación de piezas para la construcción en nuestro país. En el presente estudio realizaremos un análisis del Edificio IBM (1967) de Madrid, en el que el hormigón no solo tenía una función estructural, sino que adquirió valores de cerramiento y estéticos gracias al diseño de una pieza específica que se incorporó en sus fachadas.

El interés por el hormigón

Miguel Fisac se convirtió en uno de los principales actores de la historia de la arquitectura española por ser responsable directo de la renovación del panorama arquitectónico español. Durante los años sesenta su obra evolucionó notablemente para dejar paso a un estilo muy personal basado en el estudio de las posibilidades del hormigón que se convirtió en el principal elemento de sus obras (García Carbonero, 2003: 60). El interés por la materia fue una de las señas de identidad del arquitecto manchego. A lo largo de su carrera profesional indagó las opciones que los distintos materiales podían ofrecerle. En sus primeros años el ladrillo fue el protagonista principal, casi más por la obligación del momento que por decisión propia. Realizó varios proyectos con este material donde intentaba buscar una expresión acorde acada uso y función. Fisac inició su carrera en los difíciles años cuarenta construyendo los principales edificios para el recién creado Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Madrid. Estos edificios se encuadran en lo que el arquitecto denominó como «años de desorientación», donde se dio una evolución desde posicionamientos más clásicos hasta la aparición de una arquitectura moderna influenciada por el descubrimiento de la arquitectura nórdica (Capitel, 1983: 18-21). En algunos de los edificios construidos durante los años cincuenta como el Conjunto de Arcas Reales, el Teologado de San Pedro Mártir o el Centro de Formación del Profesorado comenzó a

utilizar,aunque de manera tímida, el hormigón. Su uso apareció en una fecha relativamente temprana aunque de forma residual respecto almonopolio del ladrillo. El interés por experimentar las posibilidades del material quedó patente en el Teologado de los Dominicos en Madrid, donde el hormigón fue el protagonista de la torre-campanario, creando una estructura de 16 pilares de 64 metros de altura que conjugó su funciónde campanario con la de imagen representativa del edificio (Fisac, M., 1960). Otra solución en hormigón que cohabitó con el ladrillo fueron los pórticos de membranas onduladas que se construyeron en el Colegio Apostólico de Arcas Reales (1952-53) de Valladolid y en el Centro de Formación del Profesorado, en Madrid (1953-55). Para su construcción el arquitecto empleó unos moldes rudimentarios, hechos con cuerdas y escayola, logrando unas marquesinas onduladas que servían de enlace de las distintas partes de los proyectos, consiguiendo una interesante yuxtaposición de soluciones con ladrillo y hormigón (Díaz del Campo, 2015: 12).

Con la llegada de los sesenta aparece un nuevo planteamiento en cuanto al uso del hormigón; ya no solo asumió importancia como material estructural sino quetuvofunciones de cerramiento y expresivas, convirtiéndose Miguel Fisac en uno de los pioneros en cuanto a este tipo de investigaciones en nuestro país. (Maset alli, 2006:237) Una de sus primeras conclusiones fue que elhormigón, como el resto de materiales pétreos, era apto para crear y delimitar espacios. Así, inició un estudió buscando distintos acabados en encofrados, dejando el hormigón sin cubrir como elemento exterior en sus edificios. (Álamo, 1997: 81). Fue en 1959, durante la construcción de los Laboratorios Madeen Madrid,cuando inició esta técnica de dejar visto el hormigón en sus muros. A partir de las cualidades del molde, entonces de madera, el arquitecto se planteó conseguir un acabado lo más compacto posible intentando que la huella de la madera quedara plasmada en la superficie final de la obra. En las primeras pruebas se encontró el problemaque durante el proceso de fraguado la madera tiraba del hormigón y quedaba parcialmente incrustada. Para solventarlo se procedió a mojar abundantemente el encofrado antes de su puesta y durante los días siguientes con la intención de corregir la composición del hormigón y aumentar la cantidad de agua, consiguiendo que al retirar el encofrado se obtuviera una superficie compacta y a la vez quedaran reflejadas las huellas de lamadera. (Peris, 2015: 93). Este fue el pistoletazo de salida de toda una serie de ensayos para logar sacar el máximo partido al hormigón y con el que Fisac inició un camino individual marcado por un excesivo formalismo abstracto, nada purista en su concepción, pero riguroso en la ejecución (Arques, 1996:32).

Por otro lado, investigó sobre las diferentes posibilidades que podía ofrecerle el hormigón en laresolución de distintas soluciones de cubierta. El primer tanteo lo encontramos en 1959 cuando realizó una marquesina para el edificio de dirección de los Labo-



Figura 1
Colegio Apostólico de Arcas Reales (1952-53). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

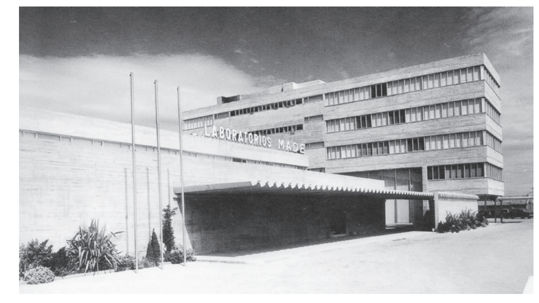


Figura 2
Laboratorios Made (1961). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac



Figura 3
Croquis de huesos. Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

ratorios Alter y, ese mismo año, enotra pieza similar en los Laboratorios Made.Estos ensayos dieron paso a las primeras piezas que responden a la idea de crear una solución de cubierta con hormigón como material principal. El primer reto al que se enfrentó el arquitecto fue solucionar el problema que le planteaba el material: su excesivo peso, por ello las piezas sonde sección hueca. Fue durante esta primera fase de experimentación cuando decidió utilizar el nombre coloquial de «Huesos» para designar las piezas. Tras hacer los cálculos y dimensionarlas, la pieza resultante le resultaba familiar, por lo quemandó a su mujer a una carnicería para que le consiguiera distintos huesos de columnas vertebrales de animales y al compararlos comprobó que había llegado a un resultado que recordaba la evolución de la columna animales vertebrados.[1]

En cada elemento proyectó la forma y disposición más adecuada a las soluciones que pretendía resolver. Después decidía el tipo de tratamiento tanto técnica como económicamente más conveniente. Con estos condicionantes se encontraban las más estrictas secciones de trabajo de la pieza que utilizael menor material, el menor peso y, en consecuencia, una menor cuantía de acero en su estructura. (Fisac, 1967:9). Se inició así el trabajo de Fisac con una serie de colaboraciones como Ricardo Barredo, Fernando Cassinello o Vicente Peiróque hicieron posible la creación de todo un elenco de distintos tipos.

Se diseñaron dos grupos de piezas atendiendo a su funcionamiento estructural. Por un lado, las llamadas «vigas postensadas» que estaban realizadas a base de dovelas según el procedimiento Barredo o procedimiento español. Por otro lado, las «piezas pretensadas» utilizando los sistemas de Peiró S.A. (González Blanco, 2006: 42). Estas soluciones dieron lugar a toda una serie de patentes realizadas a lo largo de los años por el propio Fisac y sus colaboradores. El Instituto Torroja fue el lugar de encuentro de todos estos profesionales y sirvió, además, de soporte técnico para los distintos ensayos de patentes que se introducían en el mercado previa aprobación de la Dirección General de Arquitectura.

Los «huesos», o piezas huecas de hormigón pretensado o postenzados reflejaron el estado en que se encontraba la prefabricación de piezas de construcción en la España de la época. Desde la primera pieza hasta la última (la pieza de cubierta del estudio del arquitecto a las afueras de Madrid) pasaron más de diez años de estudio y experimentación. Durante este proceso las piezas fueron mejorándose continuamente y revisando las patentes, adaptándolasa programas constructivos de lo más diverso (González Blanco, 2006: 42). Surgieron un importante grupo de piezas, que fueron principalmente de cubierta aunque también se ensayaron varios tipos de forjado, escalones y fachada. Estos elementos son muestra del espíritu investigador de Miguel Fisac que como buen arquitecto-inventor buscó inventar aquello que el mercado no le podía ofrecer (Fisac 1970).

La primera de las vigas pretensadas fue utilizada en el Instituto Femenino de Educación Secundaria Núñez de Arce (1961), bautizada como “Pieza Valladolid”, que servía como elemento de cubiertay posteriormente fue utilizada en la Parroquia de Santa Ana en Moratalaz (1965) o el Centro de Cálculo de la Ciudad Universitaria (1966). Para la realización del cálculo de la pieza contó con la colaboración del ingeniero Vicente Peiró que tenía una amplia experiencia en el sector. (Arques, 1996: 162).Junto a él realizó algunas piezas más como una viga en voladizo para marquesina utilizada en dos viviendas unifamiliares realizadas en Somosaguas (González Blanco, 2006: 44).

De forma paralela, para el diseño de piezas postenzadascontócon el asesoramiento de Ricardo Barredo en la búsqueda de nuevas y mejores soluciones. Las patentes de Barredo tenían un gran existo en el mer-

cado nacional y habían llegado a ser utilizadas en el extranjero. Si bien, dentro del ámbito español,tenía que competir con algunas patentes extranjeras como Freyssinet o CCL. Las primeras piezas de hormigón que salieron de la colaboración entre arquitecto e ingeniero las encontramos en una de las obras más llamativas de la arquitectura española: el Centro de Estudios Hidrográficos para el que se crearontres tipos de piezas (Fisac, 1964: 25). Por un lado, la denominada como «Cedex» que fue utilizada en la cubierta de la sala de modelos. Se trató de un gran desafío estructural ya que era necesario cubrir un espacio de grandes dimensiones (80 x 22 metros) con iluminación cenital uniforme (Arques, 96: 158). Cada viga se formó por más de veinte piezas huecas de hormigón armado de 350 kilos que unidas configuran una viga de 22 metros de luz. Este diseño llevaba incorporado algunas soluciones como iluminación cenital natural por medio de un poliéster que se incorporaba en las doveles y la evacuación de la lluvia a través de una superficie cóncava situada en la parte superior. La segunda de las piezas fue un peldaño de escalera realizado a través de elementos premoldeados que se incrustaron en el muro quedando en el otro extremo en voladizo. La última pieza recibió el nombre de «Pato» y se trató de una viga postesada utilizada como marquesina por medio de ocho de piezas, de poco más de medio metro de largo, que configuraban una estructura de casi cinco metros de voladizo. En el remate de la pieza, por expreso deseo de Fisac, se dejaron visos los cables como testigos del sistema constructivo utilizado (González Blanco, 2006: 45).

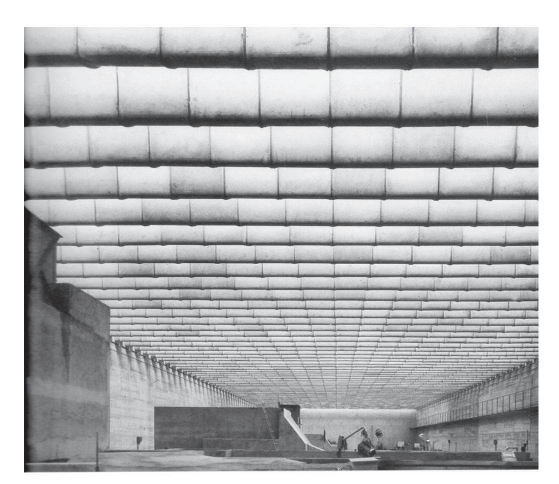


Figura 4
Centro de Estudios Hidrográficos (1961). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

Miguel Fisac entró en contacto con el industrial catalán Colomer por medio del ingeniero Carlos Barredo. El Grupo Colomer, era una curtidora familiar con sede en Vic que se encontraba en pleno proceso de expansión comercial. Uno de los principales problemas que tenía el grupo en su modelo expansivo era encontrar una solución de cubiertas distintas al acero para sus naves industriales debido a los múltiples problemas que ocasionaban algunos componentes del tratamiento de las pieles. Fue así como en 1967 se creó la empresa HUECO S.A. (1967-1971) con sede social en Vic. Una sociedad que bajo el mecenazgo de Colomer y con la involucración de Barredo y Fisac, pretendió desarrollar toda una serie de piezas prefabricadas en hormigón postesado que serían utilizadas para las cubiertas de edificios industriales. (González Blanco, 2007: 447). La experiencia comercial tuvo bastante desarrollo en obras para el grupo Colomer y empresas afines, principalmente ubicadas en Vic y Montmeló como la fábrica Bauman (1967-68), Colomer Munmany (1968-69), fábrica Julian Arumy (1968), Anónima Lanera (1968), Casa Casacuberta (1968), Maximo Mor (1968-69), CESA (1968-69) y CYDESA (1968-69). (Peris, 2015: 132). Tan solo existen algunos casos en los que se ejecutaron obras que salieron del ámbito comarcal catalán como el encargo de las bodegas Garvey en Jerez de la Frontera. Durante los cuatro años que HUECO S.A. estuvo activa de sus instalaciones salieron tres tipos elementos: la llamada pieza «Sigma», utilizada para sistemas de cubiertas con luz cenital, la pieza «Trapecio» utilizada para forjados o cubiertas sin luz y el elemento «Pato» usado en marquesinas.

Buena parte de todos estos experimentos con hormigón fueron llevados a cabo por Miguel Fisac en una serie de edificios de carácter industrial. Los años sesenta supusieron una etapa de importante crecimiento económico debido a la puesta en marcha del Plan de Estabilización de 1959. Esta coyuntura, hizo que se empezara a desarrollar gran número de industrias a lo largo del territorio nacional que abrieron un nuevo e interesante campo para la arquitectura. Fisac aprovechó esta oportunidad y mantuvo una intensa relación con la industria, especialmente con la farmacéutica, para la que realizo doce proyectospara empresas como Alter, Made, Farmabión y Jorba (Peris, 2015:89).

Una sede para IBM en España

Uno de los edificios más destacados de Fisac durante LA experimentación con distintas soluciones con hormigón fue la sede de IBM[2] en el Paseo de la Castellana. Según recuerda el arquitecto fue un encargo realizado por el presidente de la compañía americana en España:

> Un día vino a verme el presidente de IBM en España diciendo que querían que hiciera un edificio. A mí me extraño muchísimo, porque clientes así no suele haber… Luego, al cabo de un tiempo, me enteré de que desde Estados Unidos, la empresa le había pedido que confeccionara una lista de arquitectos posibles y, después de visitar lo que esos arquitectos habían hecho, me habían elegido (Fisac, 2003: 84).

Este proyecto fue coetáneo al Centro de Cálculo de la Ciudad Universitaria de Madrid. Un edificio diseñado en 1966, concebido como contendor para un ordenador que la compañíaamericana regaló a la Universidad Complutense de Madrid, y construido en planta rectangular de dos alturasde hormigón armado y piezas pretensadas huecas en la cubierta. (Arques, 1996: 220).

Para el nuevo edificio IBM se requería una ubicación destacada en la capital española. Por ese motivo la empresaencargó al arquitecto la realización de un análisis de varios solares disponibles en Madrid. Fisac realizó un estudio detallado de tres solares para presentar a los responsables de IBM para su examen. Uno estaba situado en la calle Génova, otro en el Paseo de la Castellana y un tercero sito en la calle Juan Bravo de Madrid. Se realizó un estudio donde se tuvo en cuenta algunos aspectos como los límites de volumen de la edificación, la orientación, la estimación de los servicios necesarios, restricciones legales de las ordenanzas municipales, etc.[3] Ninguno de ellos convencía plenamente a la empresa americana hasta que encontraron un terreno que se estaban empezando a edificar al lado de la Plaza de Colón.

En el número 4 del Paseo de la Castellana el arquitecto Miguel de Oriol e Ybarra proyectó un edificio comercial propiedad de la constructora FINCOSA (1964).[4] Consistía en un edificio con fachada de murocortina con algunos elementos chapados de mármol blancoy algunos revestidos de granito abujardado. Aunque el cristal que se pensaba instalarera antideslumbrante y anti-infrarrojos, por tratarse de una fachada rigurosamente orientada a Poniente, cuando IBM compró el solar, que por entonces simplemente tenia realizadas algunas excavaciones, decidiódescartar el proyecto de Oriol e Ybarra y encargar a Fisac otro totalmente distinto.

El terreno estaba situado en una de las arterias principales de Madrid. El Paseo de la Castellana, denominado en el siglo XIX como Paseo de las Delicias de Isabel II o de la Fuente Castellana, surgió como prolongación natural de los Paseos del Prado y Recoletos, y era un lugar de esparcimiento exterior al recinto amurallado de la villa. (Muñoz de Pablo, 2011). A mediados de siglo XX nada tenía que ver con la estructura urbana llena de palacetes rodeados por majestuosos jardines que había sido a principios del siglo XX. En los años sesenta estaba en pleno proceso de trasformación urbana. La vía, que se iniciaba en la Plaza de Colón y recorría la ciudad hasta la zona norte era una de las principales arterias de la ciudad. Su densidad urbana estaba aumentando considerablemente y se estabanmodificando sus construcciones trasformando los palacetes en edificios en altura que albergaban ministerios, embajadas, sede de multinacionales, etc. Algu-



Figura 5
Vista del edificio IBM desde el Paseo de la Castellana (1967). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

nos de esos edificios son obras interesantes en el desarrollo de la segunda modernidad en la arquitectura española como el edificio Bankinter (1973-1976) de Rafael Moneo Vallés y Ramón Bescós Domínguez, el Bankunión (1972-1975) de Corrales y Molezún, la sede del BBVA (1971-1981) de Francisco Javier Sáenz de Oíza, el edificio La Unión y el Fénix (1965-1971) de Luis Gutiérrez Soto o las Torres de Colón (1967-1976) de Antonio Lamela Martínez. En los años de construcción del edificio IBM el Paseo de la Castellana estaba en pleno proceso de modificación de su imagen arquitectónica. Este episodio aparece reflejado por Fisac en el estudio de los solares disponibles dejando claro que las trasformaciones de la vía estaba siendo causa de polémicas públicas ya que cada nuevo edificio rompía con el aspecto del tradicional de este paseo.[5]



Figura 6
Planta baja del edificio IBM desde el exterior (1967). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

El edificio IBM: la pieza Boomeran

El edificio para oficinas y máquinas de IBM se terminó levantando en un solar de planta trapezoidal, casi cuadrado, de tres fachadas y un lado medianero con otro edificio en el número cuatro del Paseo de la Castellana esquina con calle Hermosilla. El programa que se le propuso crear a Fisac era un edificio de varias plantas más ático y sótanos. La principal característica de la mayoría de las plantas era que debían ser espacios para oficinas, lo más diáfanos posibles, que tuvieran unas proporciones parecidas al cuadrado para facilitar, de esa forma, la libre disposición de puestos de trabajo y orientación del mobiliario. Fisac desarrolló el conjunto a lo largo de varios meses desde octubre 1966 a septiembre de 1967 como se puede en el conjunto de 137 croquis y planos del edificio que se conservan en el archivo de la Fundación Miguel Fisac.[6]

Una solución que quedo clara desde los primeros tanteos del edificio fueque el conjunto de servicios y comunicaciones (configurado por cuatro ascensores, huecos para instalaciones y dos núcleos de aseos) debían de ubicarse en el plano medianero del edificio quedando las plantas configuras por un gran espacio diáfano que tenía en dos de sus lados algunos despachos. (Peris, 2015:72). Algunas plantas tenían una configuración espacial distinta como la segunda planta que estaba formada por aulas o la planta baja, visible desde el exterior, que fue concebida como un gran escaparate de ordenadores y maquinaria, por lo que tuvo que ser cerrada por una mampara de aluminio color plata y luna blanca trasparente de seguridad.[7] En las sucesivas plantas quedaron instalados los órganos de dirección y algunos despachos individuales, mientras que el resto de la planta quedó completamente diáfana excepto la última que se destinó íntegramente a espacios sociales presididos por una cafetería (Cánovas, 1997: 207).

Otro elemento de importancia en el diseño de la sede de IBM era la necesidad de una luminaria artificial que garantizara una buena iluminación interior (Fisac, 1969:56). Se consideró prioritaria la supresión de las molestias ocasionadas por el soleamiento procedente de poniente en la fachada de la Castellana. La protección frente al sol llevó a tantear varias soluciones de Brise-soleir horizontales, hasta decantarse finalmente por el diseño de un elemento vertical de hormigón que se fue contrapeando para evitar la radiación directa en el interior del edificio. De las soluciones estudiadas se aceptó por IBM un cerramiento de piezas huecas de hormigón pretensado especial para fachada con un espesor de unos 15 milímetros en las paredes y rellenadas de poliestireno expandido para garantizar el aislamiento tanto acústico como térmico. La pieza utilizada fue bautizada con el nombre de «Bumerán»por su curiosa forma. Se trató de una pieza en V con unas dimensiones de 1,20 x 0,35 y 2,70 m de altura que fueron ejecutadas en colaboración con del ingeniero



Figura 7
Pieza Bumerán (1967). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

Vicente Peiró (González Blanco, 2006: 45). En total se construyeron más de 700 piezas para lasfachadas del edificio, de las cuales 693eran piezas prefabricadas de hormigón vibrado armado, a las que había que sumar 14 unidades con un diseño especial para las esquinas y otras tantas para remates laterales de fachadas con medianerías.[8] El resultado interior del edificio fue una iluminación natural del espacio interior por medio de unas aperturas de unos 30 centímetros de anchura cuya superficie total equivalía a una novena parte de cada planta con lo que cumplía perfectamente las exigencias de iluminación de una habitación corriente pero sin que el sol incidiera directamente en el interior (Fisac, 2003: 84). Estos huecos, que recorrían el espacio desde el techo al suelo, servían más para evitar los efectos de claustrofobia de las personas que allí trabajan, debido principalmente a que la iluminación y la ventilación eranbásicamente artificiales. En el interior del edificio se dispuso un singular soporte de lámparas fluorescentes que Fisac registró bajo el nombre de Blancanieves en 1956.[9] Estas luminarias conseguían matizar de forma sencilla todo el espacio interior gracias a la rítmica distribución de la luz cenital.

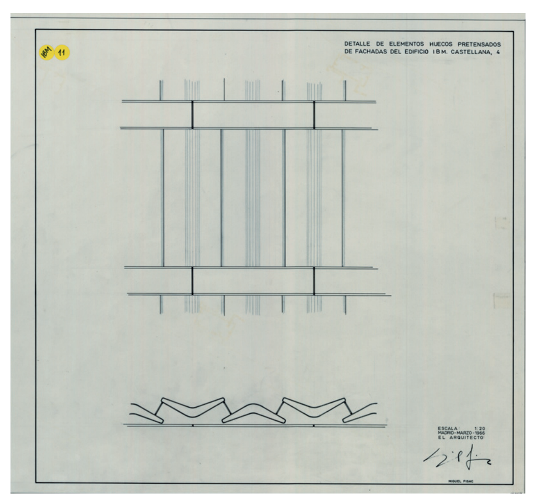


Figura 8
Plano de detalle de elementos huevos pretensados de la fachada del edificio IBM (1966). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

En las fachadas quedó claramente expresada la estructura y la forma de construcción del edificio. Las piezas Bumerán consiguieron, al tiempo de evitar las molestias de la iluminación, contener todo el carácter de representación del edificio creando un efecto que fue denominado por algunos autores como de «piel quebrada»(Soto y Maroto, 1996: 6). También quedó xvisible la estructura horizontal de forjados y en las

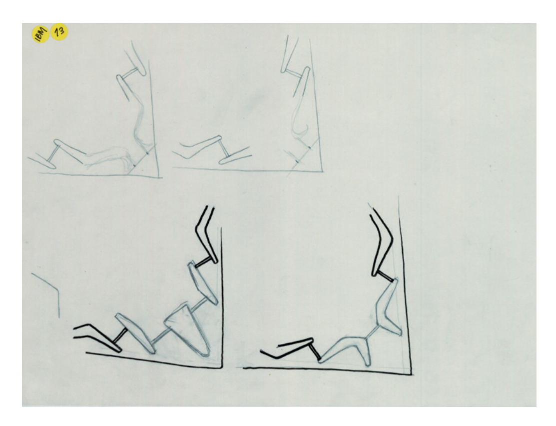


Figura 9
Croquis de la colocación de las piezas en la esquina del edificio (1966). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac



Figura 10
Interior del edificio IBM (1967). Fotografía: Archivo de la Fundación Miguel Fisac

dos plantas inferiores los pies derechos al retranquearse la fachada (Sánchez, 2009: 230).

Uno de los principales problemas a los que se enfrentó el arquitecto fue la baja altura con la que terminaron los techos para una edificación diáfana como esta, ya que cada una de las plantas media una altura entre 2,55 y 2,60 metros. Esta disposición se debió principalmente a la aplicación de las actualizaciones de las normas de urbanismo del Ayuntamiento de Madrid, ya que obligaban a meter en los techos una serie de instalaciones que antes no se hacían, como aire acondicionado, iluminación, insonorización, etc. quedando plantas con una altura relativamente bajas (Castro, 1971: 45).

Epílogo

Miguel Fisac fue un arquitecto singular con una vida y obra que en ocasiones adquieren tintes literarios (González Blanco, 2010). Durante los años sesenta trabajo con piezas de hormigón pretensado y postensado, que recordaban a estructuras óseas, en una búsqueda por encontrar una pieza ideal. Estos elementos fueron seña de identidad de sus edificios convirtiéndolo en un pionero en la investigación sobre las posibilidades, estéticas y técnicas, que ofrecía el hormigón especialmente en cerramientos y cubiertas.

Durante este proceso recibió el encargo de IBM para realizar su sede en el Paseo de la Castellana en Madrid. Se trataba de un programa de un edificio de oficinas con un espacio lo más diáfano posible. Para su ejecución, diseñó una pieza de hormigón pretensado, ejecutadas por Pereiro S.A., que sirvió de parasol horizontal, por medio de unos elementos de 1,5 centímetros de espesor rellenos de material aislante para mejorar sus condiciones aislantes. Se trató de la única pieza para fachadas diseñada por el arquitecto que terminó convirtiéndose en la protagonista del edificio.

El interés por el hormigón continuó con la llegada de los años setenta, cuando se inició otro período distinto dentro de la trayectoria de Fisac, quizás el más incomprendido. Realizó nuevas investigaciones, producto de su peculiar fascinación por el hormigón, que apenas encontraron eco entre sus colegas de profesión. Buscando la cualidad exclusiva más característica del hormigón el arquitecto reflexionó sobre su estado primitivo pastoso. Lo consiguió a través del diseño de un molde que dejaba constancia de que aquel material pétreo había sido en algún momento blando. Estos elementos, que él denominó como «encofrados flexibles», se realizaron ideando un sistema de moldes para el proceso del encofrado patentado por el arquitecto.

Notas

1. Las secciones de los huesos de animales se encuentran en la actualidad expuestas en la Sala Fisac del Museo Comarcal de Daimiel
2. Internacional Business Machine S.A.E.
3. Informe sobre solares para IBM en Madrid (1955). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233
4. Financiera e Inmobiliario Internacional S.A.
5. Informe sobre solares para IBM en Madrid (1955). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233
6. Memoria (1967). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233
7. Presupuesto (1967). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233
8. Presupuesto (1967). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, pro-

piedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233

9. Memoria descriptiva: Pantalla soporte para tubo de luz. Memoria de Patente: ES0118812. Oficina Española de Patentes y Marcas.1956.

Lista de referencias

Documentos

Informe sobre solares para IBM en Madrid (1955). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233

Memoria (1967). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa.Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233

Presupuesto (1967). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233

Serie de 137 croquis y planos (1966-67).Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233

Proyecto de Miguel Oriol e Ybarra de edificio comercial en el paseo de castellana c/v., a la C. de Hermosilla para Fincosa. (1964). Proyecto de edificio comercial en el Paseo de la Castellana con vuelta a Hermosilla, propiedad de Fincosa. Archivo de la Fundación Miguel Fisac. AFF 233

Memoria descriptiva: Pantalla soporte para tubo de luz (1956). Memoria de Patente: ES0118812. Oficina Española de Patentes y Marcas.

Bibliografía

Álamo, Mar. 1997. Vértebras de hormigón. *Revista de los Ministerios de Fomento y Medio Ambiente* 453: 81-84

Arques Soler, Francisco. 1996. *Miguel Fisac*. Madrid: Pronaos.

Azorín, Francisco y Gea, M. Isabel. 1990. *La Castellana, escenario de poder. Del palacio de Linares a la torre Picasso*. Madrid, Ed. La librería.

Castro, Carmen. 1971. Los arquitectos critican sus propias obras. Miguel Fisac. *Arquitectura* 151: 44-49.

Cánovas, Andres, ed. 1997. *Fisac: Medalla de Oro de la Arquitectura*. Madrid: Ministerio de Fomento, Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.

Capitel, Antón. 1983. La construcción de la Colina de los Chopos en Madrid. *Arquitectura* 241: 18-21.

Díaz del Campo, Ramón Vicente. 2015. Miguel Fisac y el hormigón como lenguaje estético, *Anales de Investigación en Arquitectura* 5: 7-20.

Fisac, Miguel. 1960. Teologado de San Pedro Mártir para los PP dominicos en Madrid. *Informes de la construcción* 118: 148-157.

Fisac, Miguel. 1964. Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid. *Informes de la Construcción* 157: 21-30.

Fisac, Miguel. 1967. Breves reflexiones de Miguel Fisac. *Arquitectura* 99: 9-10.

Fisac, Miguel. 1969. Edificio de oficinas en Madrid. *Hogar y Arquitectura* 83: 57-62

Fisac, Miguel. 1970. Edificio de Oficinas IBM en el Paseo de la Castellana. *Cuadernos de Arquitectura* 78: 89.

Fisac, Miguel. 2003. Edificio IBM. *AV Monografías* 111:84-87.

García Carbonero, María. 2003. La arcadia de hormigón: innovaciones patentes. *AV Monografías* 111:60-61.

González Blanco, Fermín. 2006. Razón y ser de los tipos. *Informes de la Construcción* 503: 41-48.

González Blanco, Fermín. 2007. Historia de una viga: HUECOSA o el caso catalán. *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, CICCP, CEHOPU: 447-454.

González Blanco, Fermín. 2010. *Los huesos de Fisac. La búsqueda de la pieza ideal*. Madrid: Universidad Complutense. Tesis Doctoral.

Mas, Vicente; Carcelén, Ricardo; García-Gasco, Sergio y Pelayo, Marcelino. 2006. Del Hormigón Gris al Blanco: El reto de la expresividad. *Blanco II. Actas del Segundo Congreso Internacional de Arquitectura Blanca*. Madrid: TC cuadernos. 231-237

Muñoz de Pablo, María José. 2011. Los orígenes del trazado del Paseo de la Castellana. *Anales del Instituto de Estudios Madrileños* 51: 241-260.

Peris Sánchez, Diego. 2015. *Miguel Fisac: Arquitecturas para la investigación y la industria*. Madrid: Bubok Publishing.

Sánchez Lampreave, Ricardo (Dir) (2009) *Miguel Fisac. Premio Nacional de Arquitectura.* Madrid: Ministerio de Vivienda.

Soto Aguirre, Alvaro y Maroto Ramos, Javier. 1996. La piel suave. *Revista de Edificación* 22: 6-10

La patente de Joseph Monier y la empresa Lecand Macià y Cª, sociedad en comandita (1895-1904)

Francisco José Domouso de Alba

La introducción del hormigón armado en España se inició de la mano de empresas de construcción y en particular de empresas que explotaban o estaban vinculadas a una patente o sistema privilegiado.[1] Tenían que ser empresas con unos medios de producción mínimos, ya que, al margen del proyecto técnico de la estructura o del elemento a fabricar, la puesta en obra del hormigón armado requería recursos que no estaban al alcance de pequeños contratistas.

De hecho, la primera empresa de construcción moderna española tiene su origen en el hormigón armado de la mano de Eugenio Ribera (Fernández-Ordoñez1982, 20-28).

El binomio patente-empresa

El binomio patente-empresa funcionaba como marca, pero también como legitimación técnica. El cuerpo teórico del cálculo, la correcta disposición de las armaduras y la ejecución y puesta en obra tardó en llegar más tiempo que la necesidad de hacer obras en las que el hormigón armado era el material idóneo.

Los constructores y los técnicos necesitaban una «patente de corso»,2 que los sistemas privilegiados, respaldados la mayoría de las veces por experiencias de éxito, podían aportar.

Las patentes impulsaron la creación de empresas especializadas para construir obras de hormigón armado. De esta relación solía quedar constancia en la documentación técnica y administrativa del expediente de la patente, como veremos en el caso de Monier.

Caso excepcional fue el de Hennebique, cuyas patentes estaban destinadas a la explotaciónpor parte de empresas concesionarias y no a la ejecución directa de obras. En este caso, las empresas concesionarias que explotaron sus patentes adquirieron y capitalizaron un conocimiento y una experiencia en hormigón armado que, en muy poco tiempo, en 1904, revirtió, sin costes de derechos de explotación, al sector de la construcción española.

Destaco los principales binomios patente-empresa, que encontramos en España a finales del siglo XIX y principios del XX:

- Patente: Joseph Monier. Empresa: Lecanda Macià y Cª, sociedad en comandita.
- Patente: José Eugenio Ribera Dutaste. Empresa: J. Eugenio Ribera y Compañía.
- Patente: Hennebique. Empresa: Concesionarios Hennebique.
- Patente: Ricardo Martínez Unciti. Empresa: Talleres Unciti.
- Patente: Blanc-Cavard, Joseph. Empresa: Societé Genérale des Ciments Portland de Sestao.
- Patente: Golding, John French. Empresa: The Expanded Metal Company.
- Patente y empresa: Societé J. et A. Pavin de Lafarge.
- Patente y empresa: Sociedad L. Lang & Fils.

– Patente: Mauricio Jalvo. Empresa: La Constructora Económica en Hormigón Armado.
– Patente: Eduardo Gallego Ramos. Empresa: Sociedad Anónima de las Aplicaciones de la Ingeniería.
– Patente: Gabriel Rebollo Canales. Empresa: Rebollo, Estibaus y Compañía, Sociedad en Comandita.

La patente de Monier en España

En 1893 se construyó el depósito descubierto de Puigverd (Lérida), ejecutado por Francesc Macià, ingeniero, con patente Monier.[3] Esta es la primera obra completa de hormigón armado de la que se tiene registro en España, aunque no deja de ser una obra menor, tanto desde el punto de vista de la comprensión estructural de cómo trabaja del hormigón armado, como de la complejidad de su ejecución: una pared de pequeño espesor de cemento con una armadura interior de continuidad. La armadura del sistema Monier empleada es una malla regular y homogénea, sin refuerzos puntuales. Los encofrados son también de fácil ejecución, sin necesidad de apeos o sujeciones complejas. La tipología de depósitos de paredes estrechas de hormigón armado utilizando el sistema Monier fue habitual en los años siguientes. La empresa Lecanda Macià y Cª ejecutó muchas obras de depósitos y objetos de cemento armado.[4] Fueron obras pequeñas y de escasa entidad estructural.

Joseph Monier depositó en España una patente y un certificado de adición a dicha patente:

1884: «Perfeccionamientos introducidos en las traviesas de ferrocarriles aplicables a los travesaños para formar los recipientes de todas clases y a las construcciones en general de hierros y de cemento».

1886: Certificado de adición: «Perfeccionamientos introducidos en las traviesas para ferrocarriles, recipientes de todas clases y construcciones en general de hierro y cemento».

Ambos fueron el soporte técnico del desarrollo de la empresa Lecanda Macià y Cª, sociedad en comandita. Ambas patentes se pusieron en práctica.

Monier depositó en Francia seis patentes y 19 adiciones a estas patentes entre 1867 y 1891, la primera 12 años después de la que se considera la primera patente de hormigón armado, la de Joseph Lambot, de 1855.

Las dos patentes que deposita Monier en España (una patente y un certificado de adición)[5] se corresponden con las patentes depositadas en Francia en 1877 y 1880. Estas patentes llegaron a España siete y seis años más tarde respecto al depósito original en Francia.

Por la importancia del personaje en la historia del hormigón armado, relaciono a continuación todas las patentes y certificados de adición depositados por Monier en Francia, contextualizando las dos patentes que llegaron a España:

La primera patente depositada por Joseph Monier en Francia está fechada el 16 de julio de 1867 y lleva por título: «Sistemas de jardineras/depósitos móviles en hierro y cemento aplicados a la horticultura». Posteriormente, depositó seis adiciones a esta patente (1868, 1869, 1873 y 1875), la última el 26 de julio de 1875.

La segunda patente está fechada el 3 de noviembre de 1887 y lleva por título: «Un sistema de traviesas y postes en cemento y hierro aplicados a las vías férreas y no férreas». Esta patente tuvo tres adiciones (1878 y 1880). Llegó a España el 1884, sin incorporar las tres adiciones posteriores que tuvo.

La tercera patente está fechada el 15 de marzo de 1880 y lleva por título: «Un sistema de cubas, recipientes en cemento y hierro aplicables a todo género de industrias para contener todo tipo de líquidos como agua, vino, cerveza, sidra, aceites, etc ». Esta patente tuvo tres adiciones (1880 y 1881). Esta patente se depositó en España como certificado de adición.

La cuarta patente está fechada el 24 de agosto de 1885 y lleva por título: «Sistema de tubos, conductos en cemento y hierro». Solo tuvo una adición en 1885.

Las dos últimas patentes depositadas por Monier están fechadas en 1886 y 1891 y no tuvieron ninguna repercusión en España.

La patente de Joseph Monier y la empresa Lecanda Macià y Cª, sociedad en comandita

La compañía Lecanda Macià y Cª, sociedad en comandita, fue la empresa que compró y explotó la patente de Joseph Monier en España desde 1895 hasta su caducidad (pasó al dominio público el 31 de octubre de 1904).

Los dos socios de la empresa fueron Teodosio Lecanda y Chaves, ingeniero residente en Barcelona, y Francesc Macià i Llussà, ingeniero militar, después presidente de la Generalitat de Cataluña e influyente político español del primer tercio del siglo XX.

Según la escritura de constitución de la sociedad Lecanda Macià y Cª, la gerencia de la sociedad con el uso de la firma social correspondía en exclusividad a Teodosio Lecanda y la dirección facultativa «será de incumbencia del socio Francisco Macià».[6]

Esta patente fue una de las tres únicas solicitadas en España a finales del siglo XIX vinculadas al hormigón armado que abonaron todas las anualidades del periodo de duración solicitado, feneciendo por cumplimiento de la duración del monopolio (las otras dos corresponden a patentes de John French Golding, el inventor del Métal Déployé).

La primera patente depositada en España de hormigón armado fue la número 4433, inventor Joseph Monier. Fue concedida el 31 de octubre de 1884,[7] aunque el certificado de obtención de la patente se expidió en 28 de enero de 1885, fecha que aparece en todos los documentos de cesión y transferencia de esta.

Con fecha 18 de agosto de 1886, se concede el certificado de adición a dicha patente con número de expediente 6156, con el título de «Perfeccionamientos introducidos en las traviesas para ferrocarriles, recipientes de todas clases y construcciones en general de hierro y cemento». Este certificado de adición, vinculado a la patente original, feneció con la misma el 31 de octubre de 1904,[8] pasando a dominio público.

Figura 6

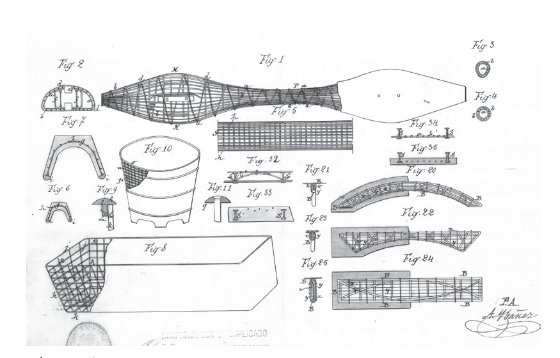


Figura 1
Monier, patente española número 4433, plano 1/2, 1884.

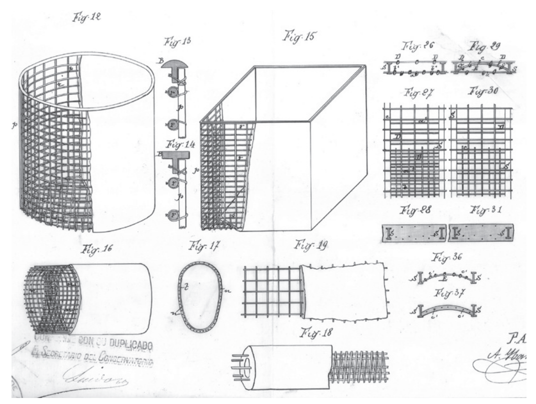


Figura 2
Monier, patente española número 4433, plano 2/2, 1884.

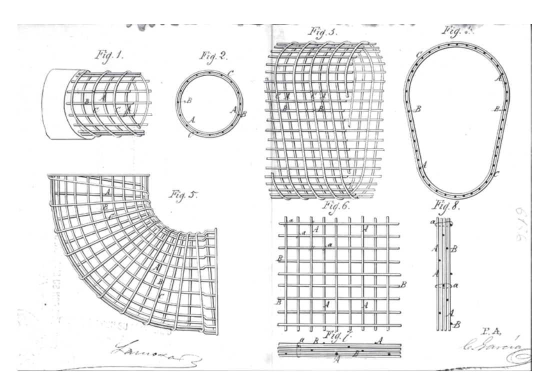


Figura 3
Monier, certificado de adición número 6156, plano 1/5, 1886

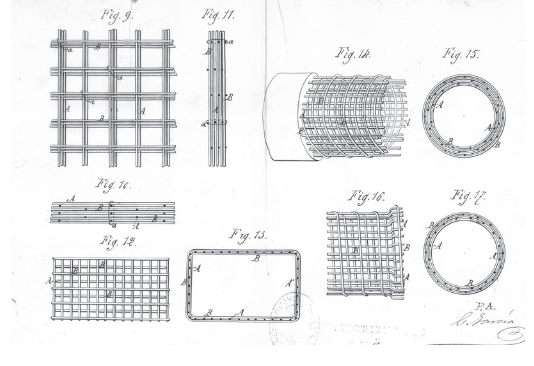


Figura 4
Monier, certificado de adición número 6156, plano 2/5, 1886.

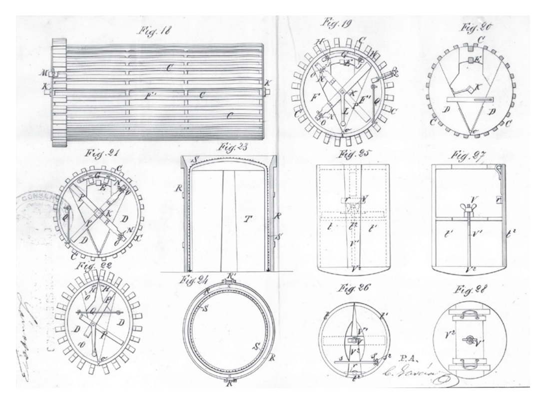


Figura 5
Monier, certificado de adición número 6156, plano 3/5, 1886

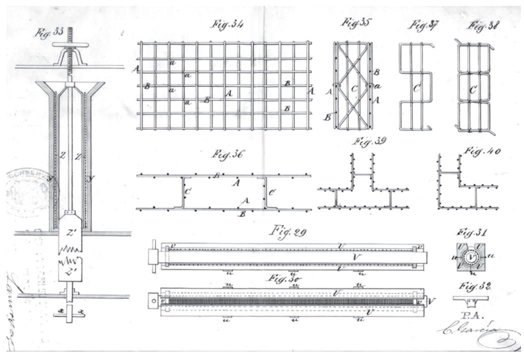


Figura 6
Monier, certificado de adición número 6156, plano 4/5, 1886.

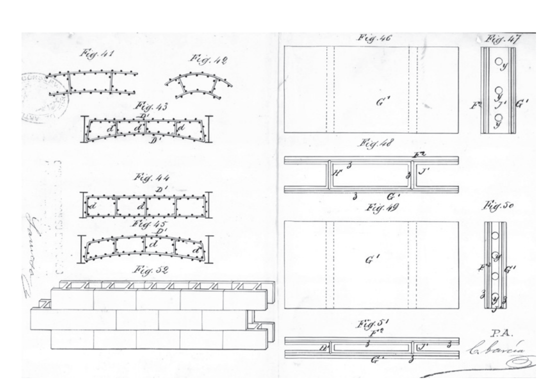


Figura 7
Monier, certificado de adición número 6156, plano 5/5, 1886

El 14 de agosto de 1895, Joseph Monier, en escritura pública, cedió y transfirió los derechos de explotación de la patente número 4433 y las adiciones de esta a la empresa Lecanda Macià y Cª, sociedad en comandita, según testimonio de Antonio Michel y Osma, secretario del Negociado de Industria.[9] Esta escritura se redactó con falta en los formalismos previstos en el artículo 32 de la Ley de 30 de julio de 1878, por lo que fue necesario redactar y firmar otra escritura pública subsanando dichos defectos con fecha 16 de diciembre de 1895. En dicha escritura de cesión se indica que los derechos, pero también las acciones legales inherentes a la mencionada patente, quedan cedidos y transmitidos a dicha sociedad. A esta escritura de cesión se le dio curso en el Gobierno Civil de Madrid, el 17 de junio de 1896, con efecto en la misma fecha.

El hermano de Francesc Macià i Llussà, Antonio Macià i Llussà, depositó dos patentes de invención con números respectivos 15562: «La construcción de uno o varios armazones, formados por un tejido de mallas más o menos espesas, de alambres de hierro o acero de todas formas, dimensiones y secciones combinadas con una o varias capas de ladrillos o rasillas, ordinarios, especiales o de cemento, situados bien interiormente a los armazones o exteriormente o entre ellos, bien combinando dos o todas estas disposiciones, enluciendo o no la obra por dentro y por fuera

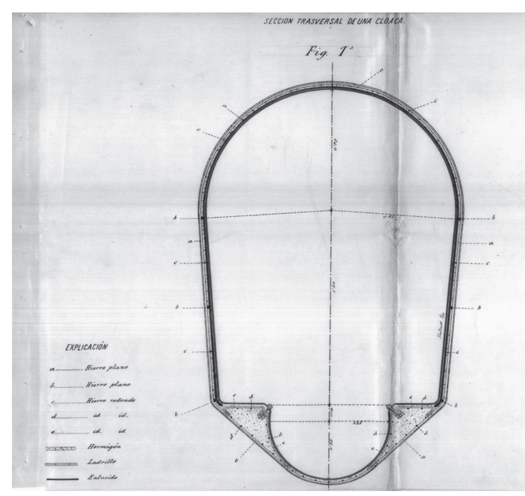


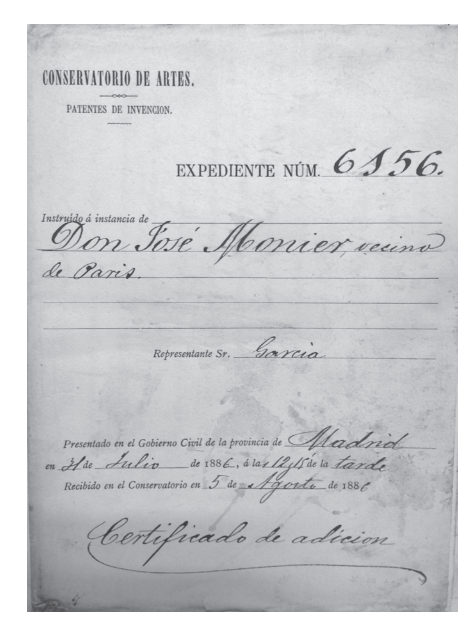
Figura 8
Maciá Llusá, patente española número 15562, plano 2/2, 1894

con mortero hidráulico o de cemento o una capa de hormigón», y 24225: «Un procedimiento de construcción de depósitos, silos, lavadoras y cosas semejantes».

La primera patente, la número 15562, concedida en 1894, no fue puesta en práctica. La segunda patente, la número 24225, fue concedida el 27 de mayo de 1899 y puesta en práctica el 27 de mayo de 1901. Estuvo en vigor hasta 1901, abonándose únicamente las 3 primeras anualidades. Ambas patentes aportan soluciones de cierta calidad, aunque sin ninguna ventaja sobre la patente de Monier.

José Gómez Acebo y Cortina, abogado, representante de «José Monier», solicitó el certificado que previene el art. 32 de la ley vigente, necesario para transferir la patente de invención 4433.[10] Este documento está fechado el 6 de marzo de 1901.

José Gómez Acebo y Cortina, abogado representante también de Lecanda Macià y Cª, solicitó ante el jefe del negociado del Registro de la Propiedad Industrial y Comercial que se haga constar que dicha sociedad sigue siendo dueña de esta patente, y que se halla al corriente de los pagos. Este documento está fechado el 10 de julio de 1902. El secretario del registro emite un certificado positivo a este respecto en cumplimiento del artículo 119 de la ley. Está fechado el 19 de julio de 1902. Se puede apreciar una cierta confusión o tal vez picaresca por parte de Monier (o posiblemente de los hijos de Monier, gerentes de una empresa denominada Monier Frères) respecto de la propiedad de la patente. Da la impresión de que en 1901 Monier[11] intentó transferir por segunda vez la patente. La respuesta fue inmediata de José Gómez Acebo y Cortina, abogado representante de Lecanda Macià y Cª (y curiosamente también de Monier), que solicitó en 1902, ante el jefe del negociado del Registro de la Propiedad Industrial y Comercial, un certificado de que dicha sociedad sigue siendo dueña de la patente y que se halla al corriente de los pagos. El secretario del registro emitió un certificado positivo a este respecto en cumplimiento del artículo 119 de la Ley el 19 de julio de 1902. La patente caducó dos años más tarde, el 31 de octubre de 1904.



CONSERVATORIO DE ARTES.

PATENTES DE INVENCION.

EXPEDIENTE NÚM. 6156.

Instruido á instancia de Don José Monier, vecino de Paris.

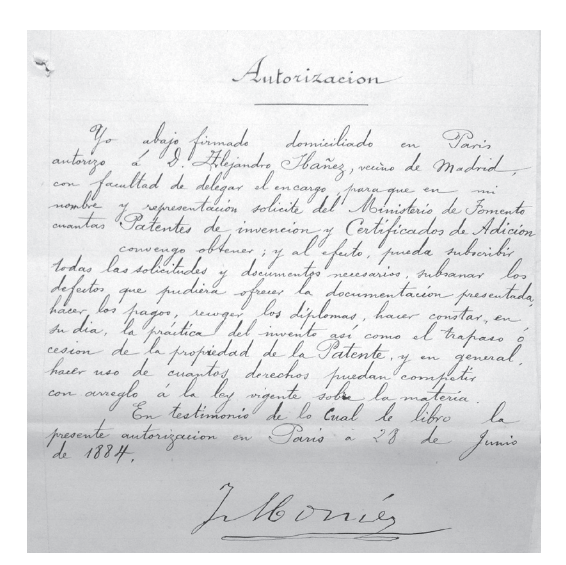
Representante Sr. Garcia

Presentado en el Gobierno Civil de la provincia de Madrid en 31 de Julio de 1886, á las 12,15 de la tarde

Recibido en el Conservatorio en 5 de Agosto de 1886

Certificado de adicion

Figura 10
Portada de la patente española número 6156 (certificado de adición), 1886



Autorizacion

Yo abajo firmado domiciliado en Paris autorizo á D. Alejandro Ibañez, vecino de Madrid, con facultad de delegar el encargo, para que en mi nombre y representacion solicite del Ministerio de Fomento cuantas Patentes de invencion y Certificados de Adicion convengo obtener; y al efecto, pueda subscribir todas las solicitudes y documentos necesarios, subsanar los defectos que pudiera ofrecer la documentacion presentada, hacer los pagos, recoger los diplomas, hacer constar, en su dia, la práctica del invento así como el traspaso ó cesion de la propiedad de la Patente, y en general, hacer uso de cuantos derechos puedan competir con arreglo á la ley vigente sobre la materia.

En testimonio de lo cual le libro la presente autorizacion en Paris á 28 de Junio de 1884.

J. Monier

Figura 9
Autorización firmada por Monier incluida en el expediente de la patente española número 4433, 1884

La primera obra documentada de Francesc Macià en hormigón armado es el depósito descubierto de Puigverd en Lleida, proyectado y construido en 1893, es decir, dos años antes de la adquisición de la patente de Monier por parte de la empresa Lecanda Macià y Cª en 1895.[12] Este depósito está considerado la primera obra de hormigón armado en España (Bur-



Figura 11
Depósito descubierto de Puigverd (Lérida). Autor: Francesc Macià. 1893. Fuente: CEDEX-CEHOPU, http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/

gos, 2009: 266) y cumple todos los requisitos de un producto Monier. Es un depósito descubierto de 1.000 m^3 de capacidad, de planta circular y de 25,30 m de diámetro. El espesor de las paredes es de 6 cm y están armadas con la malla de alambres característicos del sistema Monier. El depósito sigue en uso desde entonces y han pasado ya más un siglo.

A pesar de que el depósito se construyó dos años antes de la adquisición de la patente Monier, se publica en la revista *El cemento armado* (30 de septiembre de 1901) un artículo que atribuye de forma directa la construcción del depósito a Francesc Macià, bajo la patente Monier: «Según todos los datos hasta hoy conocidos, el primero que en España se ocupó del cemento armado fue el Capitán de Ingenieros D. Francisco Maciá y Llusá, hacia 1893, que adquirió el derecho de explotar la patente Monier y realizó grandes desembolsos para dar a conocer el sistema y educar obreros especiales».

Parece que el primer contacto de Macià con las patentes de Monier se produjo en el año 1891 durante un viaje de este a Francia. La primera empresa en la que participó Macià dedicada a la construcción con hormigón armado fue la sociedad Batlle, Macià y Compañía, empresa que tenía en su haber en 1895 más de 40 obras de hormigón armado, la mayoría pequeños depósitos industriales.No consta que dicha sociedad adquiriese ningún derecho de explotación de la patente de Monier en España.

Como ya hemos visto, en 1895, Macià se asocia con el ingeniero Teodosio Lecanda y Chaves, fundando la compañía Lecanda Macià y C^a, sociedad en comandita, que fue la que adquirió los derechos de explotación de la patente de Monier. Es obvio todas las obras anteriores en hormigón armado se habían ejecutado sin abonar los derechos de explotación de la patente.

Claudi Durán i Ventosa y a la patente de Joseph Monier

La actividad constructora de Macià parece que duró hasta 1899, año en que empezó su andadura política. Fue sustituido por el arquitecto Claudi Durán i Ventosa (Vacchelli1903, 391),[13] que siguió con la actividad constructora de la empresa.

Claudi Durán i Ventosa está considerado por algunos autores de su época como el auténtico introductor del hormigón armado en España (Berger y Guillerme1902, 76). Desde 1899, Claudi Durán desarrollaría construcciones de hormigón armado de todas las tipologías demandadas por el mercado, demostrando que el hormigón armado servía para algo más que para construir depósitos de agua. Seguía anunciándose bajo el paraguas Monier (privilegio exclusivo), como Claudio Durán, sociedad en Comandita, pero la realidad es que los derechos de la patente Monier seguían siendo propiedad de Lecanda Macià y C^a, y no consta que nunca se transfiriesen.

Bien es cierto que la caducidad de la patente sería cinco años más tarde, el 31 de octubre de 1904. Es posible que, durante este periodo, y sin necesidad de formalizar ninguna cesión, Claudi Durán contara con la autorización tácita de explotación de la patente por parte de Lecanda Macià y C^a. A partir de 1904, la patente pasó a dominio público, pudiendo ser utilizada por cualquier constructor sin necesidad de pagar derechos de explotación.

La actividad constructora de Claudi Durán duró hasta 1918. Falleció ocho años más tarde en 1926. Este periodo fue muy fructífero en obras de tipologías diferentes y creciente grado de complejidad. Libre de las ataduras de la patente, pero habiendo adquirido todo el conocimiento del sistema Monier, construyó entre 1900 y 1918 depósitos, balsas depuradoras,[14] edificios singulares (el famoso monumento a Nuestra Señora de la Antigua en la Peña de Orduña en Vizcaya, obra muy próxima a las estructuras versallescas proyectadas por Monier en sus inicios,

palomares y puentes). En este periodo la tipología de las obras construidas se hizo más compleja, abarcando prácticamente cualquier proyecto susceptible de construirse en hormigón armado. Esta variedad tipológica fue un ejemplo de las aplicaciones del hormigón armado para otros constructores.

El recorrido de los trabajos de Claudio Durán está bien documentado por Antonio Burgos (2009: 266-276) y puede seguirse en los primeros números de la revista El Cemento Armado, donde existen numerosas referencias al mismo.

Conclusión

La aplicación de la patente de Monier a la construcción de depósitos aportó experiencia en la disposición de armaduras en forma de mallas o retículas y procesos de hormigonado en paredes de pequeño espesor.

El paso a dominio público de la patente de Monier en España en 1904[15] facilitó el uso de un sistema muy probado a cualquier técnico o empresa española. Las disposiciones de armaduras del sistema Monier fue utilizado por todos los constructores importantes de hormigón armado en España de finales del siglo XIX y principios del XX.

Las obras ejecutadas bajo la patente Monier fueron las más numerosas en España (por no decir casi las únicas) en el periodo 1884-1901. Nótese, como anécdota, que es sistema Monier empezó a utilizarse dos años antes de que ninguna empresa adquiriese sus derechos de explotación.

Notas

1. *Sistema privilegiado* es una denominación ya caduca de las patentes para la época, aunque en España, a principios del siglo XX, seguía teniendo buena aceptación y daba a entender claramente su finalidad.
2. Cito palabras textuales de Juan Manuel de Zafra.
3. Como veremos más adelante, Francesc Macià empezó a utilizar la patente de Monier dos años antes de adquirir los derechos de esta.
4. Ya en 1895 esta empresa había ejecutado más de 40 obras empleando el sistema de cemento armado Monier.
5. En España, la patente número 6156 se presentó como certificado de adición de la patente número 4433, aunque en su origen Monier consideró a ambas dos patentes independientes.
6. Según escrito adjunto al expediente de la patente número 6156.
7. Según la información contenida en el libro de registro del archivo histórico de la OEPM.
8. El derecho de la explotación exclusiva del certificado de adición, según la Ley de 30 de julio de 1878, concluye el mismo día en el que concluye el derecho de explotación de la patente principal a la que el certificado se refiere.
9. Como anécdota, en el documento de escritura pública de cesión se indica que Joseph Monier asistió a la firma de este documento acompañado de un intérprete jurado por no entender correctamente el español.
10. El jefe del negociado, en nota al margen, le da curso con fecha 12 de marzo de 1901.
11. En estas fechas, Joseph Monier, arruinado, pasaba penurias y graves problemas económicos, hasta el punto de que Hennebique encabezó una colecta desde su revista *Le Béton Armé* para ayudar al «padre del hormigón armado».
12. Parece que los documentos de la obra del depósito iban firmados por Francesc Macià como concesionario de la patente Monier en España, dato poco fiable o incluso deliberadamente erróneo, ya que las patentes de Monier fueron transferidas a la empresa Lecanda Macià y Cª en 1895.
13. Destaco la nota del traductor del manual, José Cebada Ruiz, ingeniero de caminos, que indica que las patentes Monier las explota con privilegio exclusivo en España Claudio Duran, sociedad en comandita establecida en Barcelona (Ronda de la Universidad 11). El representante en Madrid es Benito Lupestri. Este sistema se dedica a todo género de construcciones hidráulicas y civiles y con él se han construido numerosas obras en Cataluña, donde la patente Monier tuvo más desarrollo. Cebada destaca las siguientes obras construidas en Madrid: 20 conos para vino de 15 m^3 de capacidad y varios depósitos de fermentación y conservación del vino (Getafe). Varios depósitos de agua para la Compañía madrileña de Urbanización, la Compañía Madrileña de Urbanización, la Sociedad Eléctrica de Chamberí, el abastecimiento de agua de Colmenar Viejo, la Sociedad Eléctrica de Getafe y la Dirección de la Guardia Civil de Getafe.
14. Claudi Durán i Ventosacontinuó explotando la patente Monier en numerosas obras de hormigón armado por toda España. Claudio Durán fue contratado por Eugenio Ribera para reparar un depósito en Mieres a principios de 1899.
15. El periodo de invenciones para el hormigón armado acabó, según Ransome, en 1904, con la concesión de la patente a Considère de un sistema de pilares reforzados con zunchos helicoidales.

Lista de referencias

Berger, C. et Guillerme, V., La construction en ciment armé: applications générales, theories et systèmes divers, Paris: Ed. Dunod, 1902, p. 76.

Bosc, J. L., Chauveau, J. M., Clément, J., Degenne, J., Marrey, B., Paulin, M., *Joseph Monier et la naissance du ciment armé*, París: Éditions du Linteau, 2001, pp.162-163.

Burgos Núñez, A., Los orígenes del hormigón armado en España, Madrid: Ed. Ministerio de Fomento, CEDEX-CEHOPU, 2009.

Domouso de Alba, F., 2016. *La introducción del hormigón armado en España: razón constructiva de su evolución (las primeras patentes de hormigón armado en España: 1888-1906)*, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Madrid.

Fernández Ordoñez, J.A., *J. Eugenio Ribera. Prólogo a una exposición*, Boletín de Información, COICCP, 1982, nº 59, pp. 20-28.

Vacchelli, J., *Las construcciones de hormigón y de cemento armado* (traducción del ingeniero de caminos José Cebada Ruiz del original publicado en 1899), Madrid: Ed. Romo y Füssel, 1903, p. 391.

Tres mercados de Bukhara en la Ruta de la Seda

Ana Escobar González

Bukhara, ciudad del actual Uzbekistán, se encuentra en el recorrido de la histórica ruta comercial que cruzaba Asia uniendo China con Turquía, conocida como Ruta de la Seda. Si bien, a Uzbekistán constructivamente se le reconoce como el país de las cúpulas azules, es preciso advertir que tiene bajo este revestimiento vidriado y colorista una construcción de fábrica de ladrillo cubierta por una amplia tipología de bóvedas y cúpulas que repiten su proceso constructivo en cada uno de los edificios significativos de sus ciudades históricas.

El objeto de este texto es compartir el análisis sobre tres arquitecturas históricas, que son mercados cubiertos construidos en el siglo XVI, en una de las calles comerciales de la ciudad de Bukhara, que comparten una configuración geométrica de planta central, definiendo espacios abiertos a la ciudad y a la vez cubiertos, en una sucesión de espacios cupulados y abovedados que alternan diferentes diseños, con un espacio central de mayor dimensión. Su diseño espacial trata de ser funcional a la ciudad, a la vez que útil a su necesidad para el intercambio de mercancías.

Aproximación histórica a la ciudad de Bukhara

Bukhara o Bujará, también denominada Buxoro, en uzbeco, es ciudad del actual Uzbekistán, el nombre de la ciudad se correlaciona con el sanscrito *vihara*, traducido como templo o lugar sagrado (Arapov 2017,52). La ciudad tiene una amplia historia de más de 2.500 años. Su territorio ha sido ocupado por civilizaciones tan diferentes como son los persas, árabes, mongoles, turcos, rusos y soviéticos. El centro histórico fue inscrito en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO en el año 1993.

Bukhara se encuentra geográficamente en Asia Central, al este del mar Caspio, sobre una llanura irrigada por el río Zeravshana una distancia intermedia entre Mongolia y Turquía. Las distintas culturas han ocupado y atravesado su territorio. En la antigüedad el imperio persa se extendió sobre su territorio llegando por el oeste; perteneció a la Sogdiana, actualmente el moderno Uzbekistán y Tayikistán, que era región poblada cuando Alejandro conquistó Asia Central, en el 328 a.C.La expansión islámica originada en Arabia a partir del año 632 de la era cristiana llegó hasta estas tierras desde el sudoeste. En el siglo X, Bukhara fue capital del imperio de los sasánidas. En el siglo XIII fue invadida y destruida por los ejércitos de Gengis Khan que provenían del este.

En el siglo XVI, llegó un momento de estabilidad y expansión, los uzbecos establecieron en la ciudad de Bukhara, un kanato con la dinastía Shaybónida, fue capital durante el reinado del kan Ubaydallah, entre 1533-1540, teniendo su mayor apogeo durante el reinado del kan Abdullah II, momento histórico en el que se construyeron los tres mercados cubiertos a los que se dedica este texto. Durante los siglos XVI-XVIII Bukhara fue una capital sagrada de referencia para el mundo islámico. La combinación y variedad

histórica que le proporciona estar en el eje comercial de Asia, no deja de proporcionar a la ciudad una riqueza cultural que se transmite también a su arquitectura.

En el siglo XIX fue conquistada por el imperio ruso en su expansión hacia el sur y en el siglo XX se convirtió en una de las Repúblicas Soviética, momento que ha transformado buena parte del trazado histórico de la ciudad, pero ha conseguido conservar parte de la muralla y edificios públicos vinculados a la cultura islámica que ha vuelto a formar parte de su historia. En las últimas décadas, con posterioridad al año 1991, cuando Uzbekistán se declara República independiente de la URSS, se han restaurado y rehabilitado gran parte de los edificios históricos conservados.

La situación geográfica de la ciudad de Bukhara le ha propiciado un intercambio de mercancías y conocimiento a lo largo de los siglos. La ciudad de Bukhara se encuentra en el recorrido de la histórica Ruta de la Seda, cuyo término fue creado por el geógrafo alemán F. von Richthofen, en 1877. Debe su nombre a una de las mercancías más prestigiosas que circulaba por ella. La ruta de la seda fue un conjunto de redes comerciales organizadas a partir del intercambio de diversos productos como telas, especias, entre otros. Se la representa ramificada, cruzando el territorio de Asia, desde el siglo I a.C., si hay que delimitar prudentemente un recorrido, este puede ser desde la ciudad china de Chang`an, actual Xian con la ciudad de Bizancio, la actual Estambul de Turquía. La ciudad de Bukhara se encuentra en este recorrido terrestre de caravanas, que están marcadas por el comercio, como lo son Samarkanda y Khiva, ciudades también pertenecientes al actual Uzbekistán.

La extensa y variada historia de la ciudad de Bukhara, ha dejado huella en las diversas tradiciones constructivas, como fueron el imperio persa, los sasánidas, la expansión islámica. Con Siria e Irán comparte una tradición constructiva común, que encontramos en mezquitas, madrazas, cúpulas, minaretes. Destacando dos elementos que son el iwan y el arco ligeramente apuntado de doble curvatura, que encontramos con asiduidad. Destacar entre las construcciones más antiguas de la ciudad, el mausoleo de Ismail Samon del siglo IX, edificación de planta cuadrada, cúpula central sobre tropas y construcción en ladrillo; Magoki Attori mezquita y antigua sinagoga; y el palacio del emir que da acceso a la ciudad histórica: «El centro de Bukhara se formó en el área de la antigua fortaleza, que sirvió como sede de los gobernantes en la era sasánida» (Shkvarikov 1945,140). Tres edificios que muestran la diversidad constructiva histórica.

A lo largo del contorno exterior de Bukhara, se extienden los enormes muros de barro, con una altura de ocho metros y medio, una anchura de cuatro metros y una longitud de nueve kilómetros. Los muros esconden casas urbanas sencillas, y solo las cúpulas y los iwanes, o portales de las mezquitas, con el minarete Kalyan de cuarenta y seis metros de altura se elevan por encima de las almenas de la muralla (Shkvarikov 1945, 140).

En la actualidad la ciudad de Bukhara se extiende hasta alcanzar una población de 300.000 habitantes, pero prestaremos atención al centro histórico, que en la actualidad permanece parcialmente amurallado y entre sus calles y plazas transformadas, aún queda la esencia de la ciudad comercial, con un amplio número de madrazas, mezquitas, mercados y caravanserai que reactivan el pasado de una ciudad dedicada al estudio, a la oración y al comercio.

Tres mercados cubiertos en la calle Khakikat

De particular interés son las calles comerciales cubiertas y algunas desaparecidas. Se dispusieron para proteger del calor, las intersecciones de las calles estaban cubiertas por amplias cúpulas bajo las cuales se realizaba el comercio (Shkvarikov 1945,141).

La calle Khakikat de Bukhara, es un extraordinario ejemplo para la descripción anterior, situada en el área comercial del centro histórico de la ciudad, con una orientación norte-sur; es el lugar donde se encuentran las tres construcciones históricas objeto de esta investigación. Como ya se ha mencionado en la introducción se trata de dar a conocer, a través del análisis geométrico y constructivo, tres mercados cubiertos, denominados Toki.

Observar la planimetría histórica extraída de la publicación del año 1945,editada en Moscú durante la época soviética, por la Academia de Arquitectura de la URSS, nos permite conocer la configuración de la ciudad histórica de esta calle y sus tres mercados.

A la calle Khakikat se accede atravesando uno de los dos mercados cubiertos situados en sus extremos;

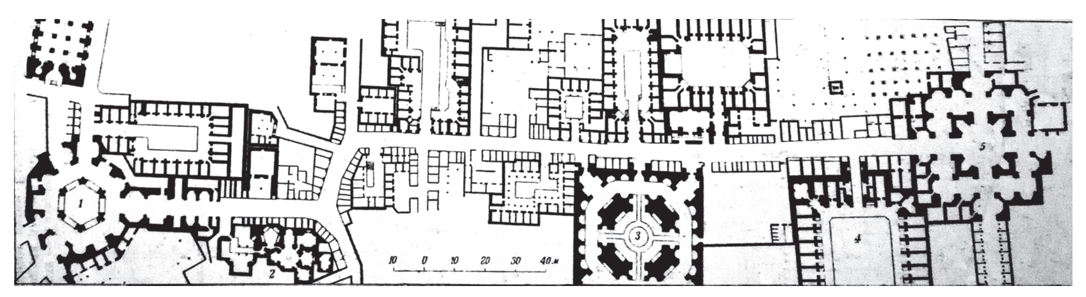


Figura 1
Planimetría histórica de la calle Khakikat, donde se localizan los tres mercados cubiertos de planta central: Toki Furushon, Toki Sarrofon y Toki Abdulloxon (Shkvarikov 1945)

son los mercados Toki Telpak Furushon de planta hexagonal situado al sur y Toki Sarrofon de planta cuadrada situado al norte. Son ambas construcciones de planta abierta a la ciudad, que es necesario cruzar para acceder a la calle. El tercero de los mercados Toki Adbul Khano Abdulloxon tiene planta cuadrada ochavada interiormente, se encuentra en un lateral de la calle. Los tres mercados o bazares están construidos en el siglo XVI, bajo el kanato de la dinastía Shaybónida, actualmente pertenecen al Estado como informan las placas que tienen en su exterior.

La singularidad y excepcionalidad de los tres mercados, está en la proximidad entre ellos y en sus características comunes. Los tres mercados, bazares o toki comparten una misma tipología constructiva, espacial y volumétrica. Tienen una configuración de planta central con una cúpula que se eleva en el espacio principal, disponen de un corredor o galería perimetral, también cubierto con un repertorio de espacios cupulados de menor tamaño que conforman junto al espacio central, cada uno de los mercados.

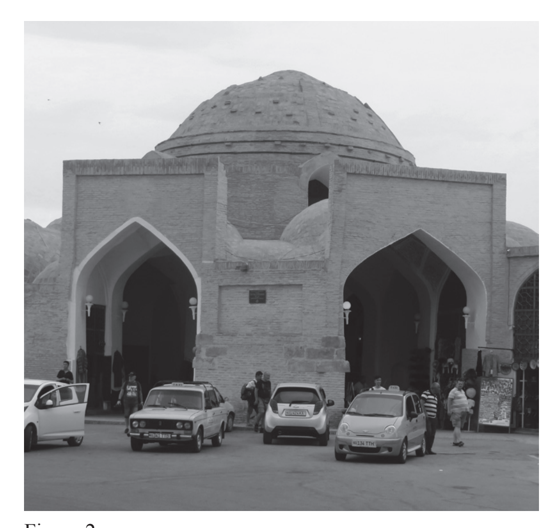


Figura 2
Toki Furushon, entrada al mercado y a la calle Kakhikat (Escobar 2018)

Para identificar el trazado urbano de la calle y las características constructivas de estos tres mercados históricos, se propone un recorrido imaginario, tal vez virtual o fotográfico, a través de los tres mercados. Se accede por el primero de los mercados cubiertos, Toki Furushon, tiene cuatro puertas, agrupadas de dos en dos, siempre resaltadas con iwan y arco apuntado que vamos a denominar a partir de este momento, como arco uzbeco, sabiendo de su fuerte influencia iraní. En el momento de atravesar uno de los arcos abiertos, a la ciudad, todo se transforma y te encuentras rodeado del ambiente cerrado del bazar, repleto de puestos para la exposición y venta de las mercancías, el recorrido nos conduce al espacio central, más amplio e iluminado a través de las ventanas abiertas en celosía que permiten la entrada de aire para ventilar el espacio cubierto por la cúpula central.

La única manera de llegar a la calle es atravesar el edificio cubierto y la galería de cinco cuerpos también cubiertos por una sucesión de diferentes espacios abovedados. Así se sale al espacio exterior donde se colocan a ambos lados de la calle pequeños locales comerciales, que continúan con el mismo lenguaje comercial. Aunque la actual configuración se ha modificado respecto al plano de referencia, figura 1. Se ha ensanchado el espacio público, e incluso se

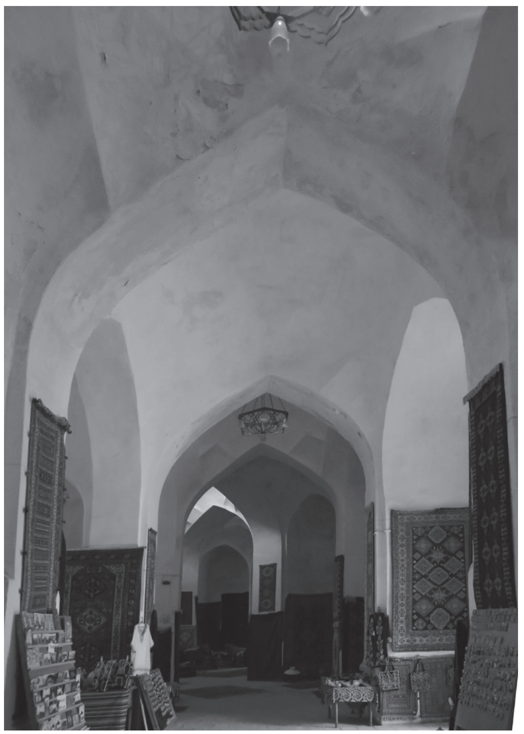


Figura 3
Toki Abdulloxon, galería interior perimetral conformada por la sucesión de espacios abovedados (Escobar 2018)



Figura 4
Toki Sarrofon, uno de los ejes perpendiculares que nos devuelve a la ciudad (Escobar 2018)

han abierto plazas que transforman el concepto espacial del recorrido original.

El segundo de los mercados, Toki Abdulloxon se encuentra en el tramo central de la calle, lateralmente a la misma, es el único de los tres que no es edificio pasante, sino que se asoma a la calle con tres accesos señalados por su correspondiente iwan, que permiten entrar al interior. Tiene una configuración más cerrada que los otros dos mercados. Se desarrolla en una planta central, que se recorre perimetralmente con la sucesión de espacios abovedados que alternan el espacio cuadrado y triangular para definir su configuración ochavada; también se pueden recorrer los dos ejes perpendiculares que se cruzan en el gran espacio central cupulado que se apoya en el ochavo que forman los machones de apoyo.

De vuelta a la calle Khakikat, seguimos el recorrido hacia el extremo norte de la calle, donde se encuentra el último de los tres mercados cubiertos, Toki Sarrofon, también con la entrada resaltada con un iwan enmarcando por arco uzbeco, el recorrido por el eje longitudinal da continuidad a la calle, bajo una sucesión de cinco espacio cupulado de similar configuración, separados entre sí por fuertes muros abierto por otros tantos arcos apuntados, destaca la altura el espacio central, como en los casos anteriores; existe la alternativa de recorrer el mercado cubierto perimetralmente con la posibilidad de salir por alguno de los cuatro puntos cardinales, lo que nos devuelve de nuevo a la ciudad de Bukhara.

Configuración geométrica de planta central

Uno de los objetivos señalados para esta investigación, es la reflexión sobre la configuración geométrica en planta central de los tres casos de estudio, los mercados cubiertos Furushon, Abdulloxon y Sarro-

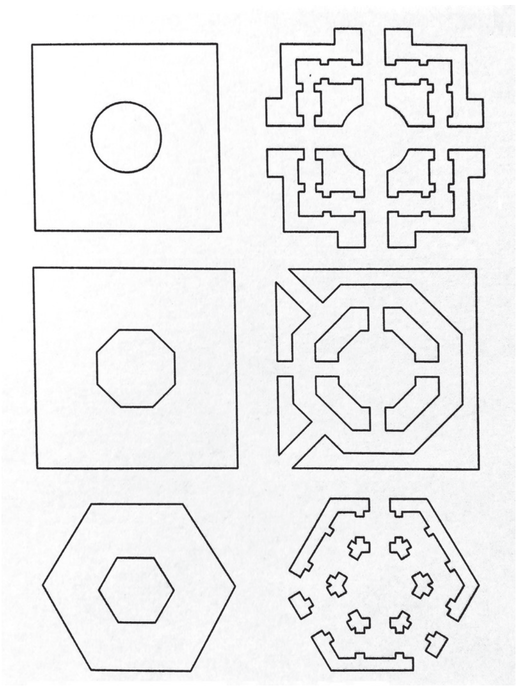


Figura 5
Esquema geométrico de los tres mercados: Toki Sarrofon, Toki Abdulloxon y Toki Furushon, su geometría abstracta y los recorridos de comunicación entre el interior y el exterior (Escobar 2019)

fon. Datada su construcción en el siglo XVI comparten una geometría de planta central que cubre el espacio principalcon una cúpula elevada del resto de la construcción. Tres geometrías diferentes que se basan en el hexágono, octógono y cuadrado respectivamente.

Siendo múltiples y variadas las referencia que se pueden encontrar sobre la geometría y la abstracción que muestran la configuración de estas tres construcciones, elijo a Titus Burckhardt, por la siguiente referencia al mundo islámico: «Una geometría especulativa que se puede vincular al legado pitagórico, que el mundo musulmán recogió muy directamente» (Burckhardt [1976] 2000,122).

Además, en busca de la unidad, como concepto que la teoría de la arquitectura persa atiende con precisión, el mismo autor escribe:

En el orden visual no hay mejor símbolo de la complejidad interna de la Unidad, que en el paso de la unidad indivisible a la unidad en la multiplicidad, que una serie de figuras geométricas regulares contenidas en el círculo o la de los poliedros regulares contenidos en la esfera» (Burckhardt, [1976] 2000,122).

Los esquemas siguientes representan dos estadios diferentes de la planimetría de los mercados. El primero representa la pura geometría, la abstracción en la que se dibuja la forma envolvente de cada uno de ellos: el cuadrado, el octógono y el hexágono, con el espacio concéntrico interior, que representa el espacio cupulado central.

La segunda serie representa los muros y los recorridos; a través de los elementos sustentantes cerrados o abiertos por los arcos de paso, y los recorridos interiores, con la sucesión de espacios comunicados entre sí, los muros se rompen para abrirse a los accesos y a la conexión entre interior y exterior que el uso comercial y la ciudad precisan.

Los esquemas muestran la abstracción geométrica que supone la representación de una planimetría en la que se trata de representar a través de los muros el espacio que comunica el interior y el exterior el edificio, que siempre es la interpretación de una abstracción, como expone Bruno Zevi:

Se destacan los muros, los límites, el marco del cuadro, pero no el cuadro mismo. Y esto, ¿por qué? Por la sencilla razón de que se atribuye una equivalencia en la representación al espacio interno y al espacio externo, cuando en realidad entre estos dos espacios existe una contradicción perentoria y absoluta, de tal manera que ver uno de ellos significa excluir el otro (Zevi [1948] 1998, 41).

Pero, tambien es necesaria otra referenciaal sentido de la Unidad de la tradición sufí y persa, e interpretarlo por distintos conceptos que llegaron del mundo islámico, mayormente relacionado con la ciudad y el concepto de espacio y unidad, que exponen Nader Ardalan y Laleh Bakhtiar, referidos a una ciudad y aplicable a la calle Khakikat y sus mercados:

La cadena de conexiones espaciales permite una estructura en la que por igual se dan la constancia y el cambio. El sistema del espacio primario se vincula con el flujo de la arteria principal del bazar, que tradicionalmente parte de una de las puertas de la ciudad, y suele continuara través de ésta hasta alcanzar la salida opuesta, o culmunar en un espacio distribuidor, ya sea de un complejo palaciego, o de una mezquita (Ardalan [1973] 2007, 59).

Tipología y variantes constructivas

La tipología constructiva de los tres mercados comparte características comunes, referidas a su geometría, dimensión, diseño de planta central y sucesión de espacios cupulados con sus variantes que tratamos de analizar a continuación. La técnica constructiva utilizada es la fábrica de ladrillo, extensamente utilizada en Asia Central, debido a sus condiciones naturales y geológicas, donde la tierra cocida es fácilmente producida, frente a la escasez de buenas canteras de piedra para la construcción.

La tradición constructiva en fábrica de ladrillo es amplia y recorre distintos momentos históricos y lugares geográficos. Existe en la construcción histórica, desde Babilonia, el uso del adobe o ladrillo sin cocer, y la evolución que supone en el mundo romano la construcción con ladrillo cocido. La fábrica de ladrillo, se generaliza en época romana (Huerta 2004, 17).

Tradición constructiva que heredó de manera natural en mundo bizantino, que también heredó el mundo islámico de Asia Central. Esta fábrica permite una versatilidad y adaptación mayor que la fábrica de piedra, por el menor tamaño de sus piezas, que consigue la homogeneidad y flexibilidad que se adapta a las necesidades por la combinación con las anchas juntas de mortero, que es el otro elemento que compone la fábrica de ladrillo.



Figura 6
Toqui Furushon, espacio triangular abovedado en fábrica de ladrillo visto (Escobar 2018)

Los tres mercados comparten una misma tipología estructural que establece dos elementos concéntricos para repartir las cargas y conseguir la estabilidad. Los dos elementos estructurales son el muro perimetral exterior y el núcleo sobre el que apoya directamente la cúpula central. El muro exterior perimetral se presenta cerrado en su recorrido, solamente se rompe para dar cabida a los accesos que se resaltan exteriormente con el arco elevado, a manera de iwan repetido en cada una de las puertas de acceso. Por otra parte el núcleo estructural central se muestra más abierto, con cuatro, seis u ocho arcos configurando los machones de apoyo de la cúpula central y definiendo las variantes geométricas que tienen cada uno de los mercados.

Otro elemento característico, constructivo y singular que tienen los edificios en Uzbekistán, es la utilización en todos los casos del arco uzbeco, influencia de Persia, actual Irán, el arco se traza con distinta curvatura en su arranque y es ligeramente apuntado, como se ha mencionado anteriormente. Otra singularidad, que veremos repetirse es el diseño en estrella que tienen las bóvedas, especialmente en el arranque del intradós. La forma de estrella tiene una referencia siempre en la arquitectura islámica, relacionando la cúpula esférica con el cielo: «Simboliza la unión del cielo y la tierra, en el que el basamento rectangular corresponde a la tierra y la cúpula esférica al cielo» (Burckhardt [1976] 2000, 121).

No existe elemento de transición entre los muros o machones y las cúpulas, o sea que la construcción es continua sin elemento de corte en la configuración interior del espacio; como se ha expuesto anteriormente la forma de estrella se configura desde el apoyo y asciende en curva delimitando la geometría y el espacio. La construcción de mayor dimensión es la cúpula central que cubre el espacio principal, con una luz próxima al tercio de la planta, entre los doce metros de Toki Furushon y los quince metros de Toki Abdulloxon.

Al no disponer de una estructura superior de cubierta, se nos permite ver fácilmente la parte exterior del conjunto de cúpulas que conforman el cierre horizontal de las construcciones, se nos muestra visible tanto el intradós, como el extradós; esto nos permite observar y comparar las variantes diferenciadoras entre las tres cúpulas centrales.

En los tres mercados se repite otra singularidad, estructuralmente se diferencian dos partes, la inferior tiene la disposición de tambor que eleva la cúpula, es



Figura 7
Cubierta exterior de Toki Abdulloxon, nos permite ver el extradós de las cúpulas que conforman la cubierta, al fondo Toki Sarrofon (Arapov 2007,63)

el cuerpo de arranque con la función de transmitir el empuje a los machones inferiores; tiene una curvatura mayor, casi vertical, lo que favorece la trasmisión de las cargas. La parte superior cierra el espacio central con el casquete macizo y ciego construido igualmente en fábrica de ladrillo. Entre las dos partes se marca una línea horizontal, tanto al interior como al exterior. El espesor de la fábrica es diferente entre las dos partes, siendo mayor en la parte inferior, además en esta parte inferior se abren los huecos que permiten entrada de luz y aire al espacio interior.

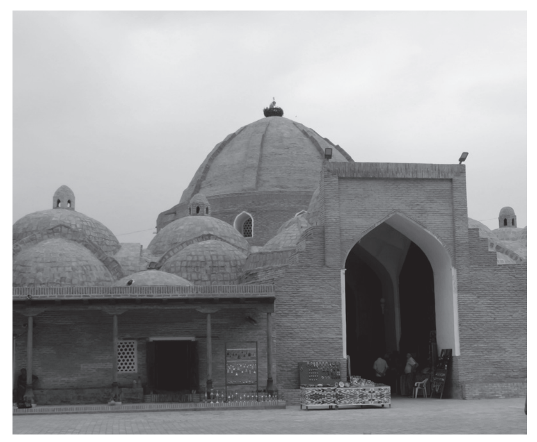


Figura 8
Toki Sarrofon, conjunto de cúpulas que cubren el espacio del mercado destacando el núcleo central con la cúpula de mayor dimensión, marcando dos partes (Escobar 2018)



Figura 9
Toki Furushon, el interior del espacio central, se observa la parte hexagonal inferior y el casquete esférico superior (Escobar 2018)

A continuación una descripción constructiva del cuerpo central cupulado de los tres mercados, para señalar sus variantes:

El caso uno, Toki Furushon, Figura 9, de planta hexagonal, tiene una dimensión exterior máxima de treinta y ocho metros y un diámetro central de algo menos de doce metros, es el que tiene unas dimensiones algo inferiores a los otros dos casos de estudio. La parte baja de la cúpula superior conserva una geometría poligonal con seis lados, con huecos abiertos en cada uno de los lados y un trazado casi vertical, que correspondería a los riñones de la bóveda esférica que se construye por encima con hiladas de ladrillo vista en el intradós.

El segundo caso, Toki Abdulloxon, figura 10, tiene una dimensión algo mayor, cuarenta y dos metros de lado y quince metros de diámetro en la cúpula central. Con una geometría octogonal, asimilable a la circunferencia, presenta interiormente un trazado de bóveda en estrella marcando los nervios que arrancan desde el suelo, cubriendo la parte baja de la cúpula, donde los arcos que van trazando las aristas al ascender van reduciendo el diámetro de la cúpula superior, desdoblándose y realizando la función de pechinas, que en este caso se repite ocho veces en el perímetro poligonal, buscando la circunferencia de apoyo del casquete superior por encima de los huecos de iluminación que se encuentran en el cuerpo perimetral de construcción casi vertical, reduciendo el diámetro,

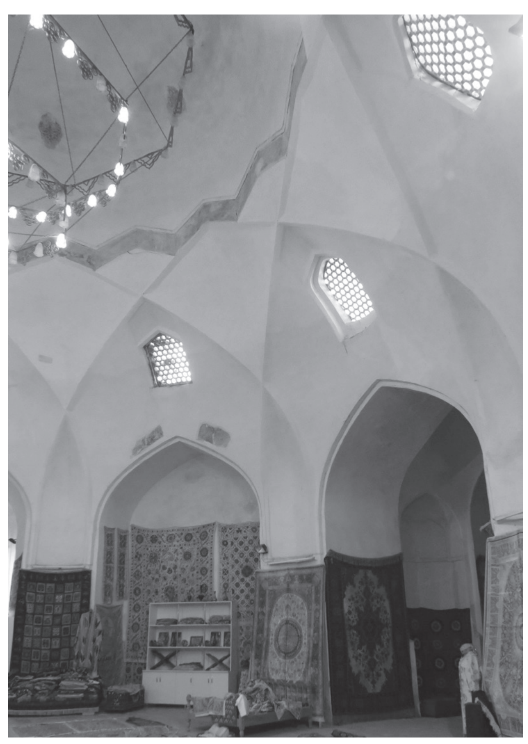


Figura 10
Toki Abdulloxon, el interior del espacio cupulado central formando una estrella (Escobar2018)



Figura 11
Toki Sarrofon interior del espacio cupulado central (Escobar 2018)

así como el empuje horizontal del casquete esférico superior.

El tercero de los casos, Toki Sarrofon, figura 11, tiene una geometría cuadrada y calles perpendiculares, abiertas y cruzadas en centro, también se configura como cúpula en estrella desde el arranque hasta la altura de los huecos de iluminación, que se abren en el arranque de la bóveda de trazado casi vertical, como sucede en el primer caso. La parte alta de la cúpula presenta dos variantes respecto a los casos anteriores, su trazado es apuntado y tienen contrafuerte al exterior.

Los dos últimos casos Abdulloxon y Sarrofon comparten el trazado en estrella que definen las aristas de la bóveda en la parte baja, especialmente en el segundo caso, Toki Abdulloxon

Si la estabilidad es siempre la razón constructiva de una arquitectura histórica, podemos concluir que los tres mercados analizados corresponden a un buen hacer de la configuración geométrica y constructiva del siglo XVI, con evidencias e influencias de otros lugares y momento histórico en el que se construyeron, desde el auge islámico de la ciudad bajo un kanato, a la herencia de la fábrica de ladrillo cocido que tiene una larga trayectoria del mundo antiguo, bizantino e islámico, referencias interconectadas que siempre representa la construcción histórica en las diferentes creencias religiosas.

Conclusiones

La singularidad de los tres mercados construidos en el siglo XVI, en la calle Khakikat de Bukhara, identificados como: Toki Sarrofon, Toki Furushon y Toki Abdulloxon, radica en la elaborada configuración geométrica de su planta central que se apoya en el cuadrado, hexágono y octógono respectivamente.

Las variantes constructivas diseñadas en la fábrica de ladrillo que reparte las cargas del núcleo central elevado hacia el perímetro exterior de cada una de las tres construcciones, con la utilización de un diseño de todas las bóvedas diseñadas con las aristas resaltadas para configurar cúpulas con forma de estrella y siempre abriendo los muros con arco de trazado uzbeco ligeramente peraltado y apuntado.

Los tres mercados comparten una misma tipología constructiva, espacial y volumétrica. Tienen una con-

figuración de planta central con una cúpula que se eleva en el espacio principal, disponen de un corredor o galería perimetral, también cubierto con un repertorio de espacios cupulados de menor tamaño que conforman junto al espacio central, cada uno de los mercados.

Lista de referencias

Arapov, Alexey. 2017. *Monumentos históricos de Uzbekistán*. SMI ASIA. Tashkent.

Ardalan, Nader; Bakhtiar, Laleh. [1973] 2007. *El sentido de la Unidad. La tradición sufí en la arquitectura persa*. Siruela. Madrid.

Choisy, Auguste. [1883] 1997. *El arte de construir en Bizancio*. Instituto Juan de Herrera. Madrid.

Choisy, Auguste. [1873]1999.*El arte de construir en Roma*. Instituto Juan de Herrera. Madrid.

Burckhardt, Titus. [1976] 2000. *Principios y métodos del arte sagrado*. Olañeta. Palma de Mallorca

Ettinghausen, Richard; Grabar, Oleg. [1987] 2000. *Arte y arquitectura del islam 650-1250*. Cátedra. Madrid.

Grabar, Oleg. [1983] 2008.*La formación del arte islámico*. Catedra. Madrid.

Huerta, Santiago. 2004. *Arcos, Bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructura de fábrica*. Instituto Juan de Herrera. Madrid.

Marçais, Georges. 1985. *El arte musulmán*. Cátedra. Madrid.

Salk, Noureddine.2018. L´architecture islamique. AFAQ. Marrakech.

Shkvarikov B.A.; Bunin L.A.; Alyn, L.A.; Polyakov H.X. 1945. *Planificación Urbana*. Academia de Arquitectura de la URSS. Moscú.

Zevi, Bruno. [1948] 1988. *Saber ver la Arquitectura*. Ediciones Apóstrofe. Barcelona.

Aportaciones en torno al uso del dibujo arquitectónico en Burgos durante el siglo XVI

Juan Escorial Esgueva

Durante las últimas décadas se ha llevado a cabo un importante esfuerzo por reconstruir los procesos que concurrieron en torno al diseño arquitectónico de la Edad Moderna, tanto a través de su plasmación gráfica como en relación con la práctica constructiva (Cabezas Gelabert 1992: 225-240; 2008: 141-209). A través de recientes trabajos se han realizado importantes aproximaciones que, desde distintas ópticas, han permitido esbozar los caracteres generales de una compleja realidad (entre ellos, Ibáñez Fernández 2014: 305-328). Sin embargo, resulta todavía difícil hacer un balance claro de los pormenores que definieron su evolución, particularmente en aquellas regiones en las que la ausencia de estudios especializados impide observar una panorámica completa de este fenómeno.

A través del presente trabajo se plantea un primer acercamiento al uso del dibujo arquitectónico dentro del ámbito burgalés, centro de referencia de la arquitectura castellana del Renacimiento y uno de los focos artísticos más potentes de toda la centuria.[1]La favorable coyuntura económica y el incremento poblacional posibilitaron, tanto en la antigua *Caput Castellae* como en todo su ámbito de influencia, la puesta en práctica de ambiciosas empresas arquitectónicas, así como la presencia en ellas de reconocidos profesionales (Payo Hernanz y Matesanz del Barrio 2015: 615-670). Por ello constituye un representativo marco en el que analizar los procesos creativos que los profesionales llevaron a cabo para la correcta materialización de estas obras.

Gracias a la información aportada por distintas fuentes documentales[2] pueden esbozarse una serie de rasgos comunes que, pese a la parquedad de los datos conservados y lo fragmentario de los mismos, permiten contextualizar los distintos proyectos y las actitudes de sus promotores y artífices. Su valor debe sumarse al hecho de que la mayor parte de losdiseños arquitectónicos citados en la documentación se ha perdido y que los escasos ejemplos conservadosno dejan de representar una mínima parte del universo constructivo desarrollado durante la centuria en este territorio.

La necesidad de dotar a las distintas empresas arquitectónicas de un proyecto previo en papel u otro soporte en el que se reuniesen las líneas básicas para su posterior ejecución y con las que garantizar su correcto cumplimiento obligó, a sus distintos responsables, a exigir su realización y a considerarlas necesarias para cualquier intervención significativa. El papel de los promotores, sin embargo, resulta todavía poco conocido, pues la documentación apenas aporta información al respecto, pero todos los indicios parecen señalar que mostraron un especial interés por el diseño arquitectónico, particularmente aquellos que, por su posición, estaban familiarizados con las empresas constructivas y las promociones artísticas.

Prueba de ello son las múltiples referencias que, en diversos testamentos, se hacen en relación con iniciativas arquitectónicas personales, en las que las trazas juegan un papel determinante, pues garantizaban que, tras la muerte de sus promotores, los distintos

proyectos pudieran materializarse según lo previsto. De este modo, los III condes de Miranda, en el testamento conjunto que redactaron en 1533, declaraban su intención de que las fundaciones que habían iniciado en la villa de Peñaranda de Duero se llevaran a cabo «…conforme a las traças…»,[3] y la condesa, una vez fallecido su esposo, mandó que la iglesia de Santa Ana de esta villa –futura colegiata– se terminara «…conforme a la traça que lleba […] la qual está en mi cámara…».[4] En términos similares se expresaron Pedro de Acuña y Avellaneda al fundar, en 1554, el colegio de la Vera Cruz de Aranda de Duero (Cadiñanos Bardeci 1994: 26) o, en 1574, Alonso de Astudillo en relación con la fundación del colegio de San Ildefonso en Burgos, que debía seguir «[e]l modelo y traça que yo diere para hello…» (García Rámila 1952: 319).[5] Coinciden, por tanto, en la definición de ambiciosos proyectos cuya construcción debía demorarse en el tiempo y que, por consiguiente, sus promotores no podrían ver concluidos.

Este anhelo por definir las obras con las que serían recordados hace que sean muy numerosas las disposiciones que, a través de sus últimas voluntades, tenían como objeto la realización de sepulcros y capillas funerarias, así como el amueblamiento de estos espacios.[6]Del mismo modo, esta dinámica queda refrendada por las relaciones que los promotores tuvieron con los profesionales que se encargarían de su realización,[7] como reflejan, por ejemplo, la construcción de la capilla que Francisca de Salazar inicióel convento de San Francisco de Burgos (Ibáñez Pérez 1994: 263-264; Barrón García 1998: 41-42) o la que Ana de Espinosa promovió en la catedral (Barrón García 1996: 39-41).

Lamentablemente, la familiaridad con el lenguaje constructivo que emana de la documentación referida, apenas tiene refrendo a través de otras fuentes. No obstante, parece evidente que el interés de algunos promotores por la cultura arquitectónica fue notable. Una interesante muestra de ello la ofrece Alonso de Astudillo quien, en 1564, declaraba ante el Cabildo catedralicio la intención de «…hazer una capilla de la mesma traça que Nra. Señora la Redonda de Roma…» en el cementerio del claustro nuevo.[8] Este testimonio refleja el conocimiento, seguramente a través del tratado de Serlio, de la arquitectura del Panteón romano y su puesta en práctica a través de una promoción personal que, sin embargo, no llegaría a realizarse.

El conocimiento y la apreciación de la tratadística arquitectónica, así como la capacidad de elección de modelos y su apreciación estética debió ser habitual entre los promotores más cultos. Así, el sepulcro exento que el marqués de Cerralbo concertó con el maestro de cantería Pedro de Castañeda en 1578 para alguna de sus fundaciones salmantinas, parece apuntar a la entrega de un diseño por parte del comitente a quien se encargaría de su factura material (Polanco Melero 2001: 416-418),[9] o el caso del obispo Pedro de la Fuente, quien definió la traza que debía seguirse para el retablo de la capilla que mandó construir en la iglesia de Moneo (Andrés Ordax 1977: 444).

El interés por la práctica arquitectónica parece desprenderse también de los inventarios de bibliotecas coetáneas, en las que se cuenta con la presencia de algunos tratados (Ibáñez Pérez 1990: 431)[10] y colecciones de estampas.[11] Prueba de ello es la magnífica biblioteca del regidor Juan Martínez de Lerma en la que, entre sus numerosos volúmenes, se contabilizaban los tratados de Alberti y Palladio, así como un «…libro de arquitetura de figuras…» en latín (Payo Hernanz 1992: 782-783),[12] además de la traducción de Urrea del tratado de Vitruvio o el de Juan de Arfe.[13]

De todo ello parece inferirse que estos promotores se implicaron de forma directa en la definición y desarrollo de estas empresas, tomando un papel activo en su ejecución. Todo ello, sumado a las actitudes y conocimiento de los propios profesionales se sentaron las bases de una cultura arquitectónica compleja en la que los dibujos que debían seguirse para la realización de las obras resultaban imprescindibles, no sólo como pauta que seguir dentro de la construcción del edificio, sino también como testimonio gráfico del resultado que, quienes sufragaban su coste,esperaban alcanzar.Por ello, aparecen, generalmente, vinculados al proceso de contratación y, por consiguiente, eran ratificados ante un escribano público.[14]De este modo, buena parte de los testimonios conservados permanecen todavía cosidos a los pormenorizados pliegos de condiciones que debían regir las distintas obras y en las que se establecían, tanto las cuestiones formales propias del diseño como las características técnicas de su proceso constructivo.[15]Aparte de servir como reflejo del proyecto que se pretendía llevar a cabo, también tenían un valor específico como garantes de que este se materializaría según lo previsto, permitiendo al comi-

tente exigir responsabilidades si el resultado no se correspondía con lo esperado.[16] Es, por este motivo, por el que un buen número de ellos también han pervivido gracias a que fueron entregados a las autoridades judiciales dentro de los complejos pleitos en los que algunos de sus responsables se vieron inmersos.[17]

No obstante, debe tenerse en cuenta que la terminología con la que se identificó a estos dibujos fue variando a lo largo del quinientos. De este modo se pasó del término «muestra», empleado de forma habitual hasta la década de 1540, cuando «traza» se impone como denominación mayoritaria, si bien ambas son empleadas indistintamente con los mismos valores semánticos.[18] Una interesante prueba de esta primera denominación se contiene en la carta de obligación por la que Simón de Bueras se compromete a hacer el retablo mayor de la iglesia de Valtierra de Riopisuerga, en 1534. En ella, el ensamblador señala que «…ha de ser todo el dicho retablo conforme a una muestra que yo dexo firmada de my nombre…»[19] y que, de forma excepcional, se conserva entre los fondos del Archivo de la Real Chancillería de Valladolid (figura 1) (Barrón García 2001: 39-40; Barrón García y Polo Sánchez: 782-784).[20]

El dibujo, muy sencillo, realizado sobre un soporte de papel, a tinta y con una ligera aguada que matiza el volumen de algunos de sus elementos, refleja la disposición arquitectónica de la mazonería de este pequeño retablo, con notorios errores de perspectiva. El autor se sirvió de regla y compás para llevar a cabo el diseño en su composición general, si bien, los motivos ornamentales se llevaron a cabo con trazos desiguales y poco cuidados. Como es habitual en estos testimonios, las distintas representaciones figurativas del retablo vienen detalladas a través de «…títulos…» escritos en cada uno de los espacios definidos por la mazonería. De este modo, aparecen indicaciones como«…aquí queremos la presentación de Nro. Señor al templo. De pinzel…» o «…aquí ha de aber la imagen de San Andrés. De bulto…».

Si bien no han llegado hasta nosotros más ejemplos de esta naturaleza, las referencias documentales apuntan a que este tipo de dibujos eran habituales dentro de la contratación de retablos durante toda la centuria. En los casos documentados se establecen unas pormenorizadas indicaciones sobre la iconografía de cada uno de los retablos,[21] señaladas a través de referencias textuales,[22] como en el caso conservado. A ello se unen, habitualmente, insistentes indicaciones sobre la ornamentación de la mazonería que, a diferencia de las representaciones figurativas, sí estaría representada en los dibujos, como reflejan algunos testimonios escritos. Así, en la contratación del retablo de la capilla de la Anunciación de la catedral burgalesa, por Juan de Lizarazu y Lázaro de Azcoitia, se señala que los motivos decorativos debían realizarse «…según están debuxados en la muestra con sus romanos…» (Ibáñez Pérez 1973: 198)[23] o en la del retablo de Villalonquéjar, por Sebastián de Salinas, en la que se señala que «…sus frisos con sus molduras e rresaltos e sus serafines y unos guardapolbos labrados del rromano […] a de ser conforme a la muestra…».[24]

Por su parte, los diseños para obras de cantería presentan algunas particularidades respecto a lo indicado anteriormente. En ellos se suele recoger la planta de la actuación que se pretendía llevar a cabo –con la proyección de las bóvedas en los casos en losque fuera necesario–,[25] si bien, consta la existencia de algunos alzados en aquellos en los que se precisaban unas indicaciones más pormenorizadas, fundamentalmente para la realización de portadas o sepulcros.[26]En las trazas de puentes se suelen combinar planta y alzado, como reflejan los testimonios documentales[27] y los ejemplos conservados.[28] Sin embargo, la mayor parte de actuaciones en edificios particulares presentan sencillos esquemas de su planta[29] que, en ocasiones, se combinan con alzados cuando la intervención prevista afectaba de forma especial a la fachada.[30] La realización de secciones resulta más excepcional y queda reducida a casos concretos en los que la construcción afectaba a fábricas anteriores.[31]

En lo que se refiere al soporte, si bien constan algunos ejemplos en pergamino(Andrés Ordax 1992: 327-332), parece ser que la mayor parte de diseños se llevaron a cabo sobre papel.[32] Así lo testimonian los pocos ejemplos conservados y así parece desprenderse de la información que proporcionan las fuentes documentales. Por ejemplo, Juan de Vallejo, en las condiciones para laobra de la iglesia de Villagonzalo Pedernales, fechadas en 1538, señala que la traza está «…debuxada […] en un pliego de papel de marca mayor…».[33] En este caso, también se ha conservado el dibujo que, como consecuencia del largo pleito que sufrió la construcción del templo, se encuentra, al igual que el anterior, en el Archivo de la

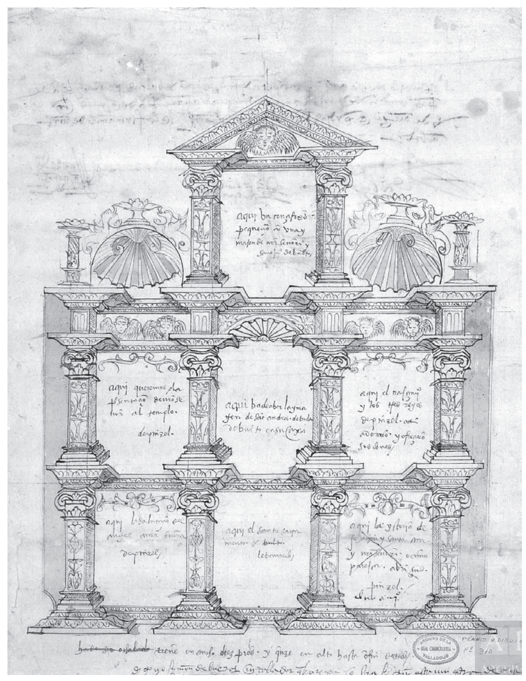


Figura 1
Imagen del antiguo Convento de San Juan de Letrán donde se puede observar la Torre del campanario y la Cúpula. (Archivo fotográfico de la Oficina del Historiador de La Habana. Carpeta Convento San Juan de Letrán)

Real Chancillería de Valladolid(figura 2) (Gómez Martínez 1998: 217). [34]

Se trata, pues, de una planta de la cabecera del edificio, sobre la que se pensaba intervenir, con la proyección de las bóvedas. El maestro se sirvió de tinta parda que, combinada con la aguada que le sirve para remarcar los nervios de las bóvedas y las líneas principales de los muros, da como resultado una representación cuidada en la que a la practicidad del diseño se une una clara vocación estética. Para su mejor comprensión se añaden diversas inscripciones que permiten aclarar cuestiones relativas a las dimensiones o al uso de determinados elementos que podían sugerir dudas a quien interpretara el dibujo.

El dilatado proceso constructivo de la fábrica y los problemas derivados del conflicto judicial que dirimieron sus responsables con Vallejo generó la realización de un nuevo diseño de esta cabecera, conservado también en la Chancillería(figura 3), y que

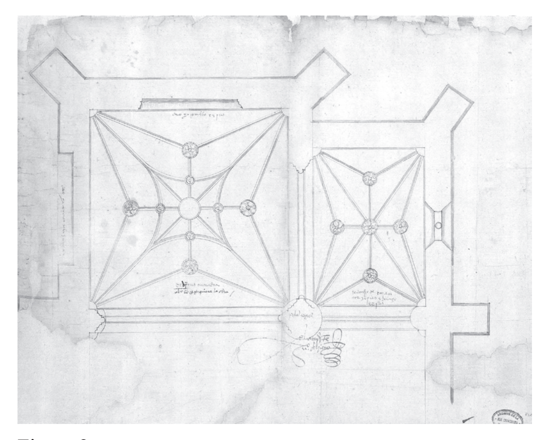


Figura 2
Planta de la cabecera de la iglesia de Villagonzalo Pedernales, por Juan de Vallejo, 1538 (Archivo de la Real Chancillería de Valladolid, Planos y Dibujos, Desglosados, 245)

aparece firmado por tres reconocidos profesionales burgaleses de la década de los 50: Juan de Lizarazu, Ochoa de Arteaga y Pedro de Castañeda. Se ha sustituido la tinta parda que se encontraba en el diseño de Vallejo por una tinta gris que, en este caso, también ilumina los huecos de los vanos. Se acompaña, a su vez, de indicaciones numéricas que expresan las distintas medidas de lo representado.

Como en este caso, lo habitual es que en las condiciones de las distintas obras se exigiera «…guardar en todo [la traza] sin salir de la horden que en ella era declarada…»[35] pero, en ocasiones, los diseños arquitectónicos podían reflejar distintas soluciones que permitían elegir entre ellas la propuesta que, técnica o estéticamente, más conviniera al proyecto. Un singular testimonio de ello lo constituye la traza que, recientemente, dieron a conocer los profesores Ibáñez Fernández y Alonso Ruiz (2016: 180-186)[36] y que debe corresponderse con una de las propuestas para las labores de reconstrucción del cimborrio de la catedral burgalesa tras su derrumbe en 1539.[37] Existe constancia documental de la realización de diversos «…modelos, muestras y traças…» con las que debía planificarse el desarrollo de la obra (Martínez y Sanz 1866:66)[38] y este dibujo debe enmarcarse en ese contexto. Efectuado sobre un soporte de pergamino –reutilizado, lo que puede sugerir que no llegó a presentarse a los responsables del Cabildo–,presenta dos alternativas distintas para las trompas.

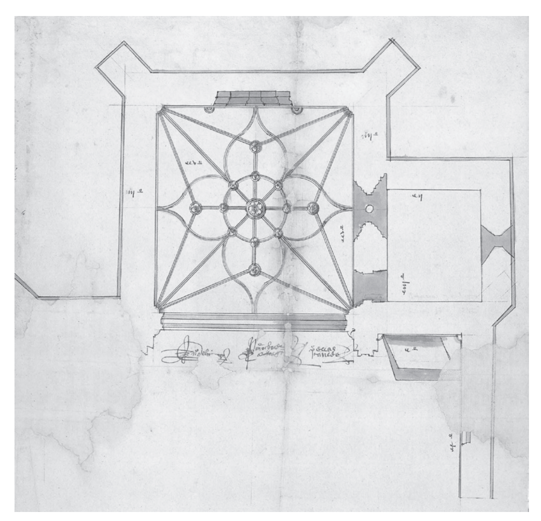


Figura 3
Planta de la cabecera de la iglesia de Villagonzalo Pedernales, firmada por Juan de Lizarazu, Ochoa de Arteaga y Pedro de Castañeda, h. 1551-1552 (Archivo de la Real Chancillería de Valladolid, Planos y Dibujos, Desglosados, 246)

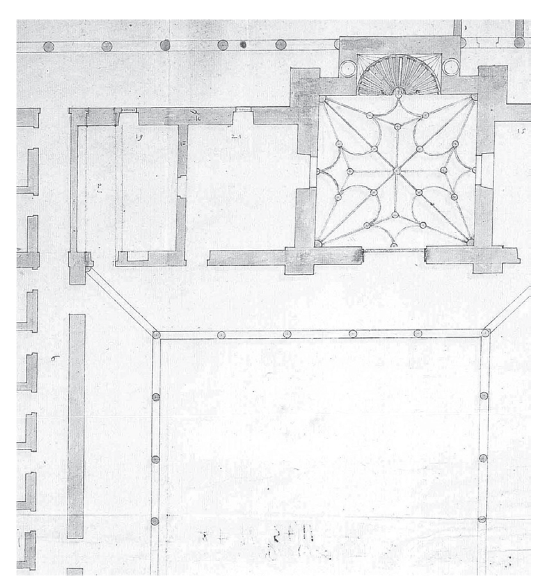


Figura 4
Detalle de la planta del Hospital de Nuestra Señora del Rosario de Briviesca. Pedro de Rasines, h. 1560-1561 (Archivo Histórico de la Nobleza, Frías, c. 373, d. 16)

Por ello, la necesidad de definir las cuestiones técnicas que afectaban a la realización de las fábricas de cantería obligaron a la realización de diseños que, a través de distintos soportes y formatos –monteas, plantillas, moldes, etc.– representaban aquellos elementos que se debían aclarar en función de su materialización. Lamentablemente, por sus propias características, estos últimos apenas generaron un rastro escrito. No obstante, en ocasiones se alude a que alguna construcción debía realizarse «…conforme a la montea natural que se rrequiere…»[39] o a la necesidad de que un maestro acudiera a «…montear…» determinados elementos de la obra para que sus responsables no tuvieran dudas sobre su ejecución.[40]

Más singulares resultan las referencias a moldes y plantillas empleados por los canteros, pues quienes habían efectuado el diseño de estas obras prestaron especial atención en que los encargados de labrar los sillares emplearan «…los contramoldes que tenéis e dexamos en la dicha obra…».[41] Así sucede en la colegiata de Peñaranda de Duero, en la que el propio Rodrigo Gil de Hontañón entregó «…un papel en que estaban debujados los moldes para la dicha obra…», entre los que se incluían los perfiles de las diferentes cornisas que debían emplearse en su construcción.[42]

En otros casos, durante el propio proceso constructivose llevó a cabo la modificación de algunos de los elementos descritos en las trazas, tanto por cambios estéticos producidos por los dilatados procesos constructivos, como por necesidades técnicas.[43]Un caso paradigmático lo ofrece la capilla mayor del monasterio de Santa María de La Vid, la cual, a través del dictamen de distintos profesionales, planteaba la posibilidad de modificar la cubierta prevista para la cabecera, incorporando una venera, como finalmente se hizo (sobre ello, Alonso Ruiz 2003a: 279-295; 2003b: 45-57). Las trazas conservadas de la planta del hospital de Briviesca (Cadiñanos Bardeci 1997: 16-17), atribuidas a Pedro de Rasines por la profesora Alonso Ruiz (2003b: 194-195; 2004: 421-446), reflejan también un modelo avenerado que, en este caso, no llegó a realizarse(figura 4).

Aparte de estos cambios estructurales, también se observan modificaciones en algunos motivos ornamentales, como los recogidos por Juan de Vallejo en las condiciones para hacer un sepulcro en San Agustín de Burgos,[44] o las que este mismo maestro redactó para la capilla que el arcediano de Palenzuela mandó hacer en la iglesia de San Gil de Burgos (Polanco Me-



Figura 5
Sección de la capilla de los Reyes, en la iglesia del convento de Nuestra Señora de la Merced de Burgos, por Pedro de la Torre Bueras, 1579 (Archivo Histórico Provincial de Burgos, Prot. 5692, ff. 365v-366).



Figura 6
Primera traza para el retablo de la capilla de los Reyes, en la iglesia del convento de Nuestra Señora de la Merced de Burgos, por Martín de la Haya, 1579 (Archivo Histórico Provincial de Burgos, Prot. 5692, ff. 314-315)

lero 2001: 420-424).[45] En términos similares se expresan los responsables del proyecto del sepulcro del santo titular del templo de San Lesmes en Burgos, en el que se pedía que el resultado fuese «…más hermossado que la traça…» (Polanco Melero 2001: 418).[46]

Conforme avance el siglo se empezarán a utilizar otras denominaciones como «dibujo»[47] o «diseño»[48], fundamentalmente entre los profesionales más cualificados, al mismo tiempo en que se generaliza el uso de la palabra «arquitecto» con la que se identifican algunos ensambladores y maestros de cantería.[49]Así aparecen denominados los distintos dibujos que, conservados en el Archivo Histórico Provincial de Burgos, se realizaron para la capilla de los Reyes del convento de Nuestra Señora de la Merced de Burgos, que el canónigo Francisco de Pesquera, a través de su testamento,había mandado edificar de nuevo para ubicar en ella su enterramiento.[50]

El maestro de cantería Pedro de la Torre Bueras acompañó a las condiciones de la capilla (Polanco Melero 2001: 424-426)[51] de un diseño de la sección de este ámbito funerario(figura 5).[52] Pese a su deficiente estado de conservación y al hecho de que se haya perdido la parte inferior del mismo, representa un testimonio excepcional dentro del ámbito burgalés, dada la escasez de ejemplos de este tipo. La construcción de este espacio suponía una intervención que afectaría a la fábrica primitiva del edificio, por lo que su autor presenta un corte de la misma en la que se aprecia el encaje que la nueva capilla tiene respecto a lo preexistente. Para ello, el corte de los muros ha sido representado a través de un punteado que permite concentrar la atención en el aspecto de conjunto que ofrecería la capilla, hecho potenciado a través de la curvatura de las líneas de cornisa de la cúpula.

Junto a este diseño se conservan también las dos trazas que Martín de la Haya hizo para el retablo de esta capilla(figuras6 y 7) (Barrón García 1994: 211-218; 1996: 37-39).[53] En el primero de ellos –del que pervive una cuarta parte– se presenta el retablo de forma frontal, prescindiendo del espacio arquitectónico sobre el que se ubicaría. Efectuado en tinta par-

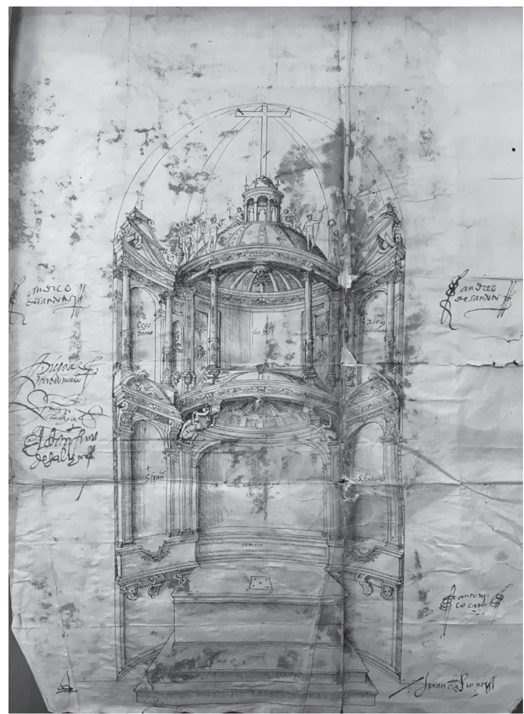


Figura 7
Segunda traza para el retablo de la capilla de los Reyes, en la iglesia del convento de Nuestra Señora de la Merced de Burgos, por Martín de la Haya, 1580 (Archivo Histórico Provincial de Burgos, Prot. 5692, f. 489).

da sobre papel, se sirve del uso de líneas para potenciar las sombras de cada uno de los cuerpos y dotar de volumen a todo el conjunto. El complejo marco arquitectónico en el que se ubicaría el retablo generó dudas entre los responsables de la obra y otros artífices, por lo que en su segundo diseño, Martín de la Haya se vio obligado a realizar una nueva traza que incorporaba la estructura del retablo al espacio que debería ocupar, empleando para ello una forzada perspectiva que, sin embargo, da como resultado un delicado dibujo.

Pese a ello, no logró la aprobación de algunos renombrados maestros a quienes se consultó su opinión al respecto. Juan del Ribero Rada, junto al arquitecto Juan de Mazarredonda y el pintor Antonio Zamorano concluyeron que«…aunque traça o debuxo parezca bien a los que no tratan la architectura, puesto en obra dará desgusto a todos, y más a los exercitados en el arte…».[54] Por ello, señalaban que«…es claro y aprobado que la buena architectura a de cargar siempre guecos sobre guecos, y maciços sobre maciços, en todo género de materia, ansí como fuese plata, bronce, hierro, madera, piedra o barro cocido, porque lo que es fuera de lo arriba dicho es reprobado y falsa invención…».[55] Así, pues, «…la continua carga y peso siempre se inclina a su naturaleça, que es al centro de la tierra, y finalmente, es mal repartida, malograda y nada cómoda, ni graciosa ni perpetua…».[56]Las críticas no venían dadas por su calidad estética, sino por sus propios caracteres formales, prueba de los cambios que la arquitectura clasicista terminaría imponiendo en las actuaciones de las décadas finales del quinientos.

Notas

1. Si bien hasta el momento se han llevado a cabo algunos estudios generales que permiten trazar una panorámica general de la realidad constructiva dentro del territorio burgalés, gracias a los esfuerzos de los profesores Ibáñez Pérez (1977; 1989a; 1989b; 1990; 1999; 2008) y Payo Hernanz y Matesanz del Barrio (2014; 2015), todavía está pendiente la realización de una síntesis completa de las aportaciones que el foco burgalés representó dentro del contexto castellano. Del mismo modo, todavía no han sido estudiados de forma pormenorizada buena parte de sus protagonistas, hecho que, afortunadamente, está siendo subsanado gracias a las aportaciones del profesor Payo Hernanz (2011; 2012; 2013) quien próximamente tiene previsto publicar una monografía sobre uno de sus principales exponentes, Juan de Vallejo.
2. Para la realización del presente estudio se han incluido, fundamentalmente, los datos procedentes de los fondos notariales conservados en el Archivo Histórico Provincial de Burgos (en adelante AHPBu), así como algunos procedentes de otros fondos documentales. La mayor parte de las noticias son inéditas, si bien, algunas ya habían sido publicadas previamente. No obstante, para evitar errores o interpretaciones personales de otros autores que puedan llevar a alguna confusión se ha preferido remitir a las signaturas actuales de los documentos en las que se recoge la cita literal a la que se hace referencia.
3. Archivo Histórico de la Nobleza, Frías, c. 888, d. 11, ff. 9v-10, 17v.
4. Archivo Diocesano de Burgos (en adelante ADBu), Peñaranda de Duero, leg. 10. *Bullas y papeles originales,* ff. 10-10v.

5. La signatura actual, AHPBu., Prot. 5672, ff. 307v-308.
6. AHPBu., Prot. 5586, II, ff. 599-599v; Prot. 5711, f. 712v; Prot. 6021, ff. 568v-569.
7. AHPBu., Prot. 5518/2, f. 88; Prot. 5525, ff. 310-312.
8. Archivo de la Catedral de Burgos (en adelante ACBu), RR-53, f. 597.
9. El documento original en AHPBu., Prot. 5766/1, ff. 245-249.
10. La signatura actual, AHPBu., Prot. 5926, f. 1796v.
11. AHPBu., Prot. 5926, f. 1801.
12. La referencia documental, en AHPBu., Prot. 6290, f. 910.
13. AHPBu., Prot. 6290, f. 941v.
14. Por ello, generalmente, aparecen firmadas por los distintos escribanos públicos, así como por los profesionales y los responsables de las obras. No obstante, la custodia de los diseños varía en función en distintos casos. Si bien lo habitual es que quedara en manos del escribano o de los responsables, también hay ocasiones en las que se devuelven al propio maestro. Sobre ello, *vid.* AHPBu., Prot. 4005, ff. 560-561v; 5527/2, ff. 186-186v; 5546, ff. 282-283; 5644, ff. 607-607v; 5778, ff. 60-61; 5593, ff. 83v-86; 8339, ff. 313-317; 10525, ff. 467-469v; 10529/1, ff. 152-155v.
15. AHPBu., Prot. 5692, f. 314-315, 365v-366, 489; Prot. 5761, f. 156; Prot. 5765, f. 196; Prot. 5817, ff. 840, 841, 842; Prot. 5909, f. 523.
16. Archivo de la Real Chancillería de Valladolid (en adelante ARChV), Pleitos Civiles, Zarandona y Walls, Fenecidos, caja 177,2.
17. ARChV., Planos y Dibujos, Desglosados, 245; 246; 310.
18. AHPBu., Prot. 5534, ff. 336v-338.
19. ARChV, Pleitos Civiles, Pérez Alonso (F), 424, 6.
20. ARChV, Planos y Dibujos, Desglosados, 310.
21. AHPBu., Prot. 5508/1, ff. 239-240v; Prot. 5514, ff. 187-189 y 192-193v; Prot. 5534, ff. 258-259 y 336v-338; Prot. 5579, ff. 121-123v.
22. Por ejemplo, AHPBu., Prot. 5667, ff. 78-80v; Prot. 5758/2, ff. 270-273v.
23. La signatura actual del documento, AHPBu., Prot. 5514, ff. 187-189.
24. AHPBu., Prot. 5534, ff. 336v-338.
25. AHPBu., Prot. 5649, ff. 377-377v; Prot. 5724/1, ff. 106-106v; Prot. 10525, ff. 471-472v. Ejemplos conservados son los diseños de la capilla del obispo Francisco Delgado en la iglesia de Castildelgado, de 1584 (Archivo de la Diputación Provincial de Burgos, H6-579, ff. 5v-6) o las de las cabeceras de la parroquia de Zael, de 1602, y la de la ermita de Nuestra Señora la Blanca de Lerma, de 1604 (AHPBu., Prot. 1488/2, f. 78 y Prot. 1184, f. 981).
26. AHPBu., Prot. 5585, ff. 723-724.
27. AHPBu., Prot. 2726/4, ff. 64-69v; 5545, ff. 282-283;
28. AHPBu., Prot. 5765, f. 196; Archivo Histórico Nacional (en adelante AHN), Consejos, Mapas, Planos y Dibujos, 1807 (Iglesias Rouco y Zaparaín Yáñez 2018: 59).
29. AHPBu., Prot. 5909, f. 523.
30. AHPBu., Prot. 5817, ff. 840, 841, 842. Las plantas, reproducidas, sin cota de archivo, en Ibáñez Pérez (1990: 531).
31. AHPBu., Prot. 5641, ff. 222v; Prot. 5655, ff. 344-345v; Prot. 5692, ff. 365v-366.
32. AHPBu., Prot. 4005, ff. 450-451; Prot. 5581, ff. 790-791v.
33. ARChV, Pleitos Civiles, Lapuerta (F); caja 2575, 2. Contrato de la obra de Villagonzalo Pedernales (22/07/1538). También en ADBu., Villagonzalo Pedernales, Leg. 5. Este maestro de cantería emplea términos similares -«…medio pliego de papel de marca mayor…»- en las condiciones del sepulcro de Juan Pérez de Cartagena en el monasterio de San Agustín de Burgos, de 1552 (AHPBu., Prot. 5525, ff. 310-310v).
34. ARChV., Planos y Dibujos, Desglosados, 245.
35. AHPBu., Prot. 5598, ff. 513v-515. Recogido en Barrón…
36. AHN, Clero, Mapas, Planos y Dibujos, 7.
37. Su largo y complejo desarrollo ha sido estudiado de forma pormenorizada por Payo Hernanz y Matesanz del Barrio (2015: 40-52).
38. La referencia está tomada de ACBu., Libro de Fábrica (1514-1562), cuentas de 1540, f. 99.
39. AHPBu., Prot. 2978/3, ff. 46v-49; Prot. 5753/1, s/f (26/06/1568); Prot. 6059/2, ff. 12-16; Prot. 6059/20, ff. 27-33v.
40. AHPBu., Prot. 10525, ff. 471-472v; ADBu., Fresnillo de las Dueñas, *Libro de Fábrica (1589-1597),* ff. 96-97; Peñaranda de Duero. Leg. 6. Cuentas (1566-1572). De ello se han podido identificar algunos testimonios en los muros de algunas construcciones, como los existentes en la capilla del arcipreste Alameda en la iglesia de Santa María de Aranda de Duero o en la capilla mayor del monasterio de Santa María de La Vid. Este último conjunto está siendo estudiado actualmente por Alexandra M.ª Gutiérrez Hernández.
41. AHPBu., Prot. 5251, ff. 273-274. También en ADBu., Peñaranda de Duero. Leg. 6. *Memoria de los materiales* (1567) y *Obligación y fianza de Juan Ybanez* (16/08/1588); AHPBu., Prot. 1460/1, ff. 14-14v; Prot. 5254, ff. 421-424v.
42. ARChV., Pleitos Civiles, Zarandona y Walls, Fenecidos, caja 177,2.
43. AHPBu., Prot. 10525, ff. 471-472v; Prot. 10526/1, ff. 213-216v.
44. AHPBu., Prot. 5552, ff. 310-310v.
45. La referencia documental, AHPBu., Prot. 5641, f. 222v.
46. El documento en AHPBu., Prot. 5848, ff. 229-232v.
47. AHPBu., Prot. 5585, ff. 723-724; Prot. 5692, ff. 486-487v.

48. En este caso aparece la palabra «desinio», derivada del italiano, lo que denota un origen vinculado a la tratadística arquitectónica. AHPBu., Prot. 5692, ff. 367-377 (documento transcrito en Polanco Melero 2001: 425).
49. AHPBu., Prot. 5557, ff. 35-37, Prot. 5808, ff. 78-78v; 281-301v; 5817, ff. 234-237v; etc.
50. AHPBu., Prot. 5692, ff. 210v-211.
51. Se encuentran en AHPBu., Prot. 5692, ff. 367-377.
52. AHPBu., Prot. 5692, ff. 365v-366.
53. AHPBu., Prot. 5692, ff. 314-315; 489. Dadas a conocer por Barrón García (1994: 211-218).
54. AHPBu., Prot. 5692, ff. 486-487v.
55. *Ibidem,* Recogido parcialmente por Barrón García (1994: 216).
56. *Ibidem.*

Lista de referencias

Alonso Ruiz, Begoña. 2003a. *Arquitectura tardogótica en Castilla: los Rasines.* Santander: Universidad de Cantabria.

Alonso Ruiz, Begoña. 2003b. «De la capilla gótica a la renacentista: Juan Gil de Hontañón y Diego de Siloé en La Vid». *Anuario del Departamento de Historia y Teoría del Arte.* 15: 45-57.

Alonso Ruiz, Begoña. 2004. «El monasterio de Santa Clara y el hospital de Nuestra Señora del Rosario en Briviesca (Burgos)». *Archivo Ibero-Americano.* LXIV, 247-248: 421-446.

Andrés Ordax, Salvador. 1977. «El retablo de Anchieta en Moneo (Burgos)». *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología.* 43: 437-444.

Andrés Ordax, Salvador. 1992. «El monasterio premonstratense de Bujedo (Burgos) y la nueva traza del convento en 1583». *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología.* 58: 327-332.

Barrón García, Aurelio A. 1994.«Fantasía y clasicismo. Debate sobre un retablo para el monasterio de la Merced de Burgos». *Actas del X Congreso del Comité Español de Historia del Arte. Los Clasicismos en el arte español.* 211-218. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Barrón García, Aurelio A. 1996. «Los escultores Rodrigo y Martín de la Haya». *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar.* 66: 5-66.

Barrón García, Aurelio A. 1998. «El ensamblador Simón de Berrieza, 1573-1612». *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar.* 74: 33-83.

Barrón García, Aurelio. 2001. «El retablo mayor de Arnuero: Gabriel Yoly, Gonzalo de Rocillo y Simón de Bueras». *Trasdós. Revista del Museo de Bellas Artes de Santander.* 3: 39-58.

Barrón García, Aurelio y Polo Sánchez, Julio Juan. 2005. «La escultura del Plateresco al Romanismo a través de una familia trasmerana: los Bueras». *III Encuentro de Historia de Cantabria.* J. Á. Solórzano y M. R. González Morales (coords.). II: 775-808. Santander: Universidad de Cantabria.

Cabezas Gelabert, Lino. 1992. «Trazas y dibujos en el pensamiento gráfico del s. XVI en España». *D'Art.* 17-18: 225-240.

Cabezas Gelabert, Lino. 2008. *El dibujo como invención. Idear, construir, dibujar.* Madrid: Cátedra.

Cadiñanos Bardeci, Inocencio. 1994. «El colegio de la Vera Cruz, una importante fundación docente en Aranda de Duero». *Biblioteca: estudio e investigación.* 9: 25-38.

Cadiñanos Bardeci, Inocencio. 1997. «El hospital de Nuestra Señora del Rosario de Briviesca». *Boletín de la Institución Fernán González.* LXXVI, 214: 11-24.

García Rámila, Ismael. 1952. «Del Burgos de antaño. Dos testamentos de Alonso de Astudillo Mazuelo, el fundador del colegio y capilla de San Ildefonso en el desaparecido monasterio de la Trinidad». *Boletín de la Institución Fernán González.* XXXI, 121: 307-321.

Gómez Martínez, Javier. 1998. *El gótico español de la Edad Moderna: bóvedas de crucería.* Valladolid: Universidad de Valladolid.

Ibáñez Fernández, Javier. 2014. «Entre *muestras* y *trazas*. Instrumentos, funciones y evolución de la representación gráfica en el medio artístico hispano entre los siglos XV y XVI. Una aproximación desde la realidad aragonesa». *Arquitectura tardogótica en la corona de Castilla. Trayectorias e intercambios.* B. Alonso Ruiz y F. Villaseñor Sebastián (coords.). 305-328. Sevilla-Santander: Universidad de Sevilla-Universidad de Cantabria.

Ibáñez Fernández, Javier y Alonso Ruiz, Begoña. 2016. «El cimborrio en la arquitectura española de la Edad Media a la Edad Moderna. Diseño y construcción». *Artigrama.* 31: 115-202.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 1973. «El escultor Juan de Lizarazu y el retablo de la Anunciación en la catedral de Burgos». *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología.* 39: 189.201.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 1977. *Arquitectura civil del siglo XVI en Burgos.* Burgos: Caja de Burgos.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 1989a. «El maestro de cantería Juan de la Puente: obras burgalesas». *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología.* 55: 307-322.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 1989b. «Rodrigo Gil de Hontañón y la iglesia colegial de Peñaranda de Duero (Burgos)». *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología.* 55: 398-401.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 1990. *Burgos y los burgaleses en el siglo XVI.* Burgos: Ayuntamiento de Burgos.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 1994. «El mecenazgo de los mercaderes burgaleses». *Actas del V Centenario del Consulado de Burgos (1494-1994).* II: 243-312. Burgos: Diputación Provincial de Burgos.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 1999. «Arquitectura, escultura, pintura y artes menores del siglo XVI». *Historia de Burgos (3)*. III: 7-196. Burgos: Caja de Burgos.

Ibáñez Pérez, Alberto C. 2008. «Arquitectura del siglo XVI en Burgos». *El arte del Renacimiento en el territorio burgalés*. E. J. Rodríguez Pajares y M.ª I. Bringas López (coords.). 59-80. Burgos: Universidad Popular para la Educación y Cultura de Burgos.

Iglesias Rouco, Lena Saladina y Zaparaín Yáñez, María José. 2018. «Los puentes burgaleses a través de la documentación. 1600-1800». *Puentes singulares de Burgos: unir orillas, abrir caminos*. M. Á. Moreno Gallo (coord.). 53-100. Burgos: Diputación Provincial de Burgos.

Martínez y Sanz, Manuel. 1866. *Historia del templo catedral de Burgos*. Burgos: Imprenta de Anselmo Revilla.

Payo Hernanz, René Jesús. 1992. «Estudio de algunas colecciones de la nobleza burgalesa a comienzos del siglo XVII». *Hidalguía*. 235: 767-784.

Payo Hernanz, René Jesús. 2011. «El escultor romanista Martín Ruiz de Zubiate». *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar*. 107: 205-248.

Payo Hernanz, René Jesús. 2012. «El escultor Sebastián de Salinas y las pervivencias siloesco-vigarnianas en los años centrales del siglo XVI». *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*. 78: 45-68.

Payo Hernanz, René Jesús. 2013. «Ochoa de Arteaga. Arquitecto y escultor vasco del Renacimiento». *Alma Ars: estudios de arte e historia en homenaje al Dr. Salvador Andrés Ordax*. M. Á. Zalama y P. Mogollón (coords.). 47-52. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Payo Hernanz, René Jesús y Matesanz del Barrio, José. 2014. *El cimborrio de la catedral de Burgos: historia, imagen y símbolo*. Burgos: Institución Fernán González.

Payo Hernanz, René Jesús y Matesanz del Barrio, José. 2015. *La edad de oro de la* Caput Castellae: *arte y sociedad en Burgos, 1450-1600*. Burgos: Dossoles.

Polanco Melero, Carlos. 2001. *Muerte y sociedad en Burgos en el siglo XVI*. Burgos: Diputación Provincial de Burgos.

Las cubiertas planas de tierra en Ibiza. Aproximación histórico-constructiva

Mª Eugenia Escudero Lafont
Soledad García Morales
Salvador Roig

La presente comunicación expone un trabajo de investigación realizado sobre las cubiertas planas de tierra. El estudio que aquí se presenta se centra en aspectos histórico-constructivos, pero forma parte de una investigación más amplia que también ha reproducido y ensayado en laboratorio su comportamiento respecto al agua de lluvia. La comunicación expone la tipología y detalles constructivos, su delimitación de uso por zonas geográficas (sobre todo en la cuenca mediterránea), la caracterización de los materiales utilizados, y una investigación sobre las canteras de donde se obtienen, sobre todo en la zona de Ibiza, en donde todavía se conservan las técnicas de construcción, y se han podido consultar fuentes orales. Se describe el estado de este patrimonio arquitectónico en la isla y las características específicas de las cubiertas de tierra ibicencas, que tienen un comportamiento especialmente eficaz debido a los materiales que las forman.

Las publicaciones referidas a cubiertas realizadas en tierra como material impermeabilizante, definen de un modo básico las capas que la forman, como parte de un estudio global de la arquitectura en tierra de la zona de estudio. Entre ellos destaca el proyecto CORPUS, que realiza el estudio sobre el área de la cuenca mediterránea, haciendo una recopilación de datos locales referidos a la sección característica de cada región, sus materiales, procesos constructivos, personas o profesionales intervinientes en la construcción, mantenimiento requerido, patologías más probables, evolución constructiva y modificaciones sufridas, así como la vigencia de su uso actual. El presente trabajo se inicia partir de estas publicaciones y las completa con un estudio original.[1]

Cubierta plana de tierra

Definición

La cubierta de tierra tradicional es una cubierta plana, con bajas pendientes del 1 al 5%, cuyo aislamiento e impermeabilización se realizan mediante distintas capas de tierras, generalmente arcillosas, con la existencia de alguna capa vegetal o tierras mezcladas en ocasiones con otros materiales vegetales. Esta definición de la cubierta responde a la descripción de sus componentes, y en ésta convergen diferentes autores (Nourissier et al 2002; Gil Albarracín 1992).

Esta tipología de cubierta, según algunos autores (Guibbert 1982; Gil Albarracín 1992), resulta de la adaptación de un forjado a su nueva ubicación, ya que al describir no solo la cubierta, sino los forjados intermedios característicos de sus zonas de estudio, se ve que se mantienen los mismos componentes: estructura adintelada de madera, sobre la que apoya una capa de tablazón, cañizo o ramas, en la que se coloca una capa de tierra limpia compactada a modo de capa de compresión sobre la que se apoyaría el acabado del suelo, y que en el caso de la cubierta se completaría con una capa impermeable y se formarían pendientes para dar salida al agua.

Esta última capa, cuyo fin es la impermeabilización de la cubierta, será de tierra especialmente escogida o tratada con aditamentos naturales, mortero de cal, lajas de piedra o cerámicas o una yuxtaposición de varias de ellas.

Las variaciones en la capa de terminación son consideradas por el proyecto CORPUS como distintas tipologías de cubiertas planas; mientras que Antonio Gil Albarracín (1992), en su estudio de la arquitectura vernácula de la provincia de Almería las interpreta como variaciones locales de la misma cubierta. Otros autores interpretan este hecho como la evolución natural de la cubierta de tierra, como ocurre en el caso de la arquitectura cúbica de Castellón en la ciudad de Peñíscola (Flores 1974).

Ubicación geográfica de las cubiertas de tierra

La presencia de la cubierta plana de tierra está más limitada geográficamente que la arquitectura de muros de tierra. Se encuentra fundamentalmente en el entorno de la Cuenca Mediterránea, llegando hasta Yemen en la península Arábiga (Varanda [1981] 2009).

Existen ejemplos más alejados, como la arquitectura de los indios Pueblo de Nuevo México (EE. UU.), o en la zona desértica del Tíbet (Viollet-le-Duc [1875] 1945).

Dentro de la cuenca Mediterránea se localiza principalmente en sus dos extremos: Al este, desde Grecia a Egipto y al Oeste, desde España a Túnez, con la Isla de Ibiza incluida.

Extremo Este de la cuenca mediterránea

La zona abarca Grecia, Chipre, Turquía, Líbano, Jordania, Palestina, Israel y Egipto. En estas regiones las secciones tienen una configuración parecida. Nos centraremos en aquellas de las que se tiene más definición (Grecia), y en las de la zona del rio Jordán, por sus características mezclas de materiales. Pero si es importante aclarar que en general la definición de las secciones no incluye datos sobre los espesores de todas y cada una de las capas que las integran y que salvo excepciones la tierra no está caracterizada, denominándose de forma genérica como tierras o arcillas en su caso. Todas estas cubiertas son anteriores o de la primera mitad del siglo XX, posteriormente este proceso constructivo se abandonó por nuevos materiales.

Las cubiertas de tierra tradicionales en Grecia las encontramos en las islas de Creta, Cárpatos, Rodas y las islas Cícladas. Están construidas sobre estructura adintelada de vigas de madera, cubriendo los entrevigados de dos posibles maneras: con lajas de pizarra apoyadas de viga a viga y directamente una capa de tierra arcillosa de 20 a 25 cm; o tablas de madera con una capa de algas para aislar las tablas de la humedad que contiene la tierra y aislar del calor y el frio (Maleka 2013).

Los trabajos del Proyecto Corpus (CORPUS 2002a) definen mejor las tierras utilizadas y sus capas (figura 1).

En las islas Jónicas, también se encuentran cubiertas planas con acabado de piedra porosa procedente de Malta, o de terracota. En cualquiera de los casos, bajo ellas se mantienen las capas de tierra de puzolana procedente de Santorini y la capa de algas, con una sección que alcanza los 40 cm de espesor. (CORPUS b).

En la zona de Líbano, Palestina y Jordania, tiene la cubierta una configuración muy parecida, la capa de tierra, definida como arcilla, se mezcla con vegetales para mejorar su respuesta, probablemente ante el fuerte agrietamiento que sufriría por el secado tras las lluvias.

La sección de las cubiertas está formada por un piso de vigas, en Jordania y el Líbano además puede realizarse sobre bóveda de cañón. Sobre ésta, un lecho de juncos en Palestina o tablillas en Jordania y el Líbano; Se cubre con una capa de hojas de palmera o ramas y hojas (Jordania) o ramas de retama, piornos

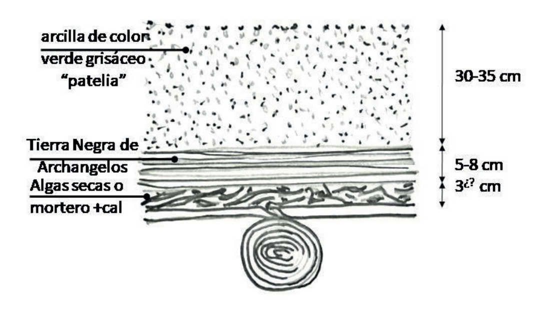


Figura 1
Sección cubierta de tierra en Grecia (Dibujo de las autoras)

o zarza en el Líbano. La capa de tierra de 15 a 20 cm de espesor en Palestina está formada por una mezcla de arcilla mezclada con agua y paja, junco, hojas, escombros, ceniza o pelo de cabra, (para reducir la fisuración) y cubierta por una capa de cal que garantiza la impermeabilización. En Jordania esta capa está formada por tres tongadas de una mezcla de arcilla, paja, raíces, grava y cal. En el caso del Líbano, la capa de 25 cm se forma con tierra arcillosa mezclada con paja picada, zarza o grava, rematada por una capa de 2 cm de arcilla y paja compactada.

En las cubiertas de Palestina y Jordania, el borde de la cubierta se forma con una acumulación de tierra recubierta con el mortero de fachada de 20 a 30 cm de altura. En el Líbano sobresale de los muros 60 cm y tiene un borde recrecido con salidas de agua interiores (CORPUS 2002c; CORPUS 2002d; CORPUS 2002e).

Extremo Oeste de la cuenca mediterránea

En el extremo oeste de la cuenca tenemos cubiertas de tierra planas en España y los países del norte de África: Argelia y Marruecos. Se encuentra de forma habitual en zonas rurales y llanas.

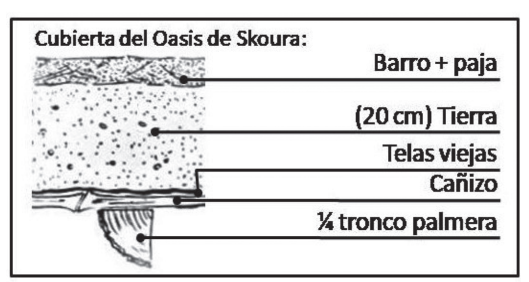




Figura 2
Sección de la cubierta de Sokoura y Mzab (Autoras)

En el estudio realizado sobre la arquitectura de tierra del valle del Dra en Marruecos, Baglioni describe la sección de la cubierta conformada por una base de hojas de palma, para evitar la caída de polvo al interior, sobre la que se extienden tres capas de 5 cm: de arcilla seca, para absorber la infiltración, de arcilla húmeda, y de arcilla mezclada con cal (como material estabilizante e impermeable), o de arcilla con paja como material que mejora la resistencia (Baglioni 2011).

Vicent Soriano (2004) analiza la cubierta de tierra del oasis de Skoura y Guibbert (1992) describe las partes que forman la cubierta del valle de Mzab (Argelia) (figura 2).

En España hay constancia de su uso desde la Edad Media, recibiendo la denominación de terrado, característico de la arquitectura de gran parte de la España mediterránea. Es en las regiones de Las Alpujarras, Almería, Campo de Cartagena, Murcia, la ciudad de Peñíscola, junto con las casas cúbicas agrícolas de la provincia de Castellón e Ibiza, donde la cubierta plana es la quinta fachada y un elemento singular, configurador de la arquitectura, aunque el modo constructivo haya sufrido una evolución evidente.

Nos centramos en las secciones de las Alpujarras (Granada), Almería e Ibiza.

En La Alpujarra, aunque existen numerosas descripciones, recogemos la de José Manuel López Osorio y Javier Abadía Molina (1998) representada en la figura 3.

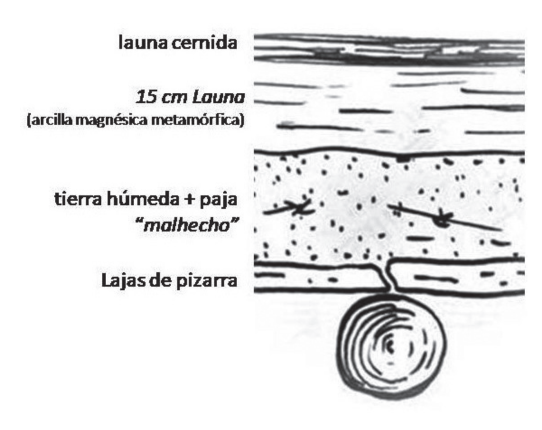


Figura 3
Sección de cubierta en La Alpujarra según Osorio y Molina (Autoras)

Antonio Gil Albarracín (1992), en su estudio de la tipología en la provincia de Almería, detecta hasta diez variaciones en la cubierta de tierra, más dependientes del entorno inmediato que de diferencias culturales. Los terrados en esta provincia se realizan sobre estructura de rollizos de madera, que soportan una base continua realizada con caña tejida con esparto o rajas de madera (*taíllos)*, o lajas de pizarra.

Sobre esta estructura, para protegerla de la humedad y evitar la pudrición del cañizo o zarzo, se colocaba una capa de baladre (adelfas) o retama, denominada *chasca, matiana* o *malhecho*. En la zona del levante almeriense, se colocaba encima una capa de yeso o cal con barro.

Sobre esta se tiende una capa de entre tres a diez centímetros de *launas*, *laúna* o *roya,* denominación local de la arcilla magnésica de color gris-verdoso-azulado-amoratado. La launa, para su puesta en obra, se maceraba formando granos de un centímetro, creando al humedecerse una pasta impermeable (figura 4). El repaso del terrado tras las fuertes lluvias generaba unos recrecidos que hacían que el espesor total pudiera alcanzar el medio metro.

La cubierta de la arquitectura rural ibicenca está descrita por numerosos autores: Raoul Haussmann (1936); Carlos Flores (1973) relaciona la casa popular de Ibiza con la almeriense y con otras zonas del levante español, especialmente con Peñíscola; Eric Muhle (Muhle 1982), Catalina Verdera y Cis Lenaerts (Verdera y Lenaerts 1982) o Luis Feduchi, que en su trabajo sobre la arquitectura popular española hace una descripción de la sección completa y relaciona la arquitectura de Ibiza con la de la cuenca mediterránea: «lo que es evidente es que es plenamente mediterránea, con una relación más clara con el norte de África». Más tarde insiste en esta idea diciendo: «Tampoco podemos dejar de citar las semejanzas con la casa africana de terrado sobre todo con la de los cinco villas mozabitas argelinas (Valle M´Zab) que, como las de Ibiza, tanto sedujeron a Le Corbusier» (Feduchi 1976). En el trabajo sobre la arquitectura, historia y tradiciones de Ibiza, realizado por F. Joachim y PH. Rotthier (1984), se habla de la cubierta con gran detalle: (letra cursiva en el original)

> Sobre las vigas se disponen sucesivamente, cuatro materiales.
>
> Un primer material es el sostenimiento de los estratos superiores. Se trata, según el destino o finalidad del local, de ripia de madera, *tegell,* producido a partir de sabina, olivo, almendro o también de algarrobo o con lajas de piedra de marés; en las habitaciones o cámaras… En ocasiones se utiliza cañizo o simplemente ramas en la cocina y sistemáticamente en los corrales.
>
> El segundo estrato está realizado con algas, material que no se pudre, las cuales retienen el material y aseguran una función de aislamiento térmico. Las algas protegen el entablado, *tegell*, de la humedad de los estratos superiores y le permite una cierta evaporación a fin de mantenerles siempre secos.
>
> La tercera capa es una mezcla de cenizas, carbón vegetal y cal, recogido del fondo del horno de cal. Su función es absorber la humedad de infiltración de la arcilla y de entregarla luego para su evaporación.
>
> Finalmente, la cuarta capa, está formada por arcilla extraída del subsuelo, que asegura la impermeabilización del terrado. No obstante, la impermeabilización no siempre es absoluta; la arcilla tiende a agrietarse por la acción del sol y de la sequedad, producidas tras las primeras lluvias (Joachim y Rotthier [1984] 2013).

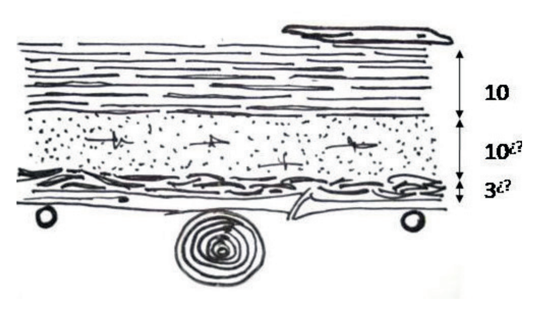


Figura 4
Sección de cubierta de Almería (Autoras)

También describe la cubierta de Ibiza Juan Manuel Valiente Soler (Valiente Soler 1998), Antoni Ferrer, (Ferrer Abúrzuza 1998); Joan Josep Serra (2000) en su trabajo sobre torres prediales ibicencas, indica que la forma de solucionar la impermeabilización y la evacuación del agua era similar al resto de las construcciones rurales; o el estudio de la arquitectura existente en Ibiza de Ralph Blakstad donde recoge la entrevista al propietario Josep Marí Torres de Can Pen de Pla (1888-1990) en la que define y explica la ejecución de la cubierta característica de Ibiza (Blakstad 2013).

Cubierta plana de tierra en Ibiza. Trabajo de campo

La sección de la cubierta de la arquitectura rural ibicenca conforme a las descripciones realizadas por los distintos autores, quedaría conformada de la siguiente manera: La estructura es de vigas formadas por troncos de árboles, rollizos de pino o sabina, principalmente, de unos 8 a 15 cm de diámetro y separados entre sí 40 o 50 cm; el forjado del techo se realiza con tablillas de madera de sabina, cañizo, ramas o lajas de marés según la estancia que cubre. Sobre ésta se sitúa una primera capa de 10 cm de algas, una manta intermedia de tierra procedente de horno de carbón vegetal o de residuos de horno de cal de 10 a 20 cm y otra de arcilla, tierra arcillosa o tierra de alfarero de 10, 20 ó 30 cm.

Se ha realizado un recorrido por la isla de Ibiza en el que se analizó el estado de algunas de las construcciones más singulares y características de la misma, se tomaron datos de la sección de la cubierta, del material utilizado, se visitaron lugares de extracción de material, conocidas como *covas* (cuevas), y se pudo conversar con propietarios y personas relacionadas con la construcción de las cubiertas. La existencia y la localización de algunos de estos edificios estaban recogidas en una publicación anterior (Ribas y Roig 2013).

Cuevas

El material exterior de las cubiertas de tierra de Ibiza, designada con arcilla (*argila*), se obtiene de distintas ubicaciones en la isla. Vistamos algunas de ellas, recogiendo muestras de material para su posterior caracterización geológica y ensayo. Se recogieron seis muestras, que el geólogo ibicenco Luis Alberto Tostón2 reconoce visualmente y determina que se corresponde con margas o margo calizas (material que está formado por el 50% de arcilla y el otro 50% de carbonato cálcico u otros materiales).

Las cuevas visitadas fueron:

En la zona noreste de la isla, localizables en el Plano Geológico de España (PGE), SANT JOAN DE LABRITJA 773 I-III 35-30 (Escala 1:25.000):

Cova de Can Miquelet de poble de Sant Leo, Venda des Figueral del pueblo de Sant Carles de Peralta, municipio de Santa Eulàlia del Riu. La ubicación corresponde con Margas, areniscas y Conglomerados. La cueva es resultado de la extracción del material en un corte natural del terreno. Está situada a 0,50 m de la superficie. El material que se obtiene tiene tonalidad azulada y su textura, una vez extraído, es de granulometría fina.

Cova Sa Font, en Can Pere de Blai en sa Font, San Vicent, está ubicada en zona geológica de Margas blancas, y la situada en el Núcleo de Atzaró, entre Sant Llorenç de Balafia y Sant Carlos de Peralta en el municipio de Santa Eulalia del Rio, situada en zona de Margas, areniscas y conglomerados, colindante con Calizas tableadas.

En la zona noreste, recogido en el PGE: SANT MIQUEL DE BALASANT 772 II-III-IV 34-30 se sitúa la cueva denominada Coll, ubicada junto a la Ctra. PMV-812.1 km 10,44, en Dalt de ses Amarrades, Sant Agnés de Corona y la Cova de Cas Coroner en Camí corona de Dalt, al este del torrent de sa Tanca, ambas situadas en zona de Margas.

Al este de la isla, recogida en el PGE: SANT ANTONI DE PORTMANY, 798-I 34-31 I, se localiza la Cova en Ctra. Sant Vicent en Dalt de ses Amarrades, Santa Agnés de Corona, e identificada en la zona definida como Margas con intercalaciones rítmicas de calizas margosas. Esta cueva tambien es el resultado de la extracción de material en un corte natural del terreno, a profundidad de 2,50 m aproximadamente. El material que se obtiene tiene tonalidad blanca amarillenta, con betas blancas azuladas. La textura una vez extraído el material es de granulometría fina.

Finalmente, en la zona sur de la isla (ES CUBELLS 798-III 34-31 III) visitamos Cova de Can Na Rosa, situada en Venda de sa Talaia, San Josep de sa Talaia, ubicada en terreno definido como Margas con intercalaciones rítmicas de calizas margosas; y la Cova de Carretera PMV 803-1 situada en Venda de sa Talaia, San Josep de sa Talaia, ubicada en terrenos definidos como Calizas blancas.

Las zonas de extracción se caracterizan por ser cortes naturales del terreno, se saca el material por debajo de la capa superior. El material de extracción tiene color blanco amarillento, y en ocasiones tonalidades azuladas. A pesar del aspecto compacto de los muros de la cueva, al extraer el material no se obtienen terrones sino finos, polvo de textura muy fina que se pega a los dedos. La extracción resulta sencilla y la accesibilidad a las cuevas es fácil en todos los



Figura 5
Cova en Ctra Sant Vicent (Autoras)



Figura 6
Cubierta de Can Pepe Cove, Ibiza (Autoras)

casos puesto que se encuentran junto a un camino, o próximas a la vivienda (figura 5).

Edificaciones

En Ibiza la edificación es en origen agrícola y muy dispersa. Las viviendas principales de las fincas se denominan *casament* de modo genérico; cuando se identifican con el nombre de la familia propietaria se denominan: *can* (Can na Rosa). Se sitúan en la zona central de la isla, lejos de la costa, por los ataques de piratas y corsarios sufridos hasta el siglo XVII. Las edificaciones secundarias de las fincas, de apoyo a su mantenimiento, están más próximas a la costa y se denominan *païsses* (en singular, *païssa*). Algunas viviendas tenían torres de defensa pasiva de los ataques piratas que se denominan *pedriales*. Estas torres mantienen características constructivas similares al resto de las viviendas. (Serra 2000).

La edificación de los casament y païsses se forma por la yuxtaposición de *casas (*una habitación) y posee cubierta propia e independiente. Aloja un solo uso: cocina, sala abierta o cerrada, *porxo,* dormitorio o corral.

Estas casas tiene tamaños de 3 × 3 ó 3 × 4 m y la altura de las mismas va variando, para que las cubiertas descarguen unas sobre otras, hasta recoger finalmente el agua en los aljibes, en muchas ocasiones.

Se visitaron más de 25 casaments o païsses, muchos en estado de ruina y con las cubiertas dañadas o modificadas. Destacamos el Molino de sangre de Can Vicent de Serra (Venda de Cas Ripolls) y Can Pep Cova en Sant Miquel de Balasant, municipio de Sant Joan de Labritja, por estar en uso y buen estado (figura 6). En la actualidad el mantenimiento requerido, conforme a lo indicado por los propietarios se limita a la eliminación de plantas y colocación de montoncitos de margas, anualmente.

Como ya han descrito los autores citados que han estudiado la cubierta de Ibiza, ésta se compone de tres capas: una exterior de arcilla, una intermedia de tierra carbonera y la interior de algas posidonia. Como resultado de los trabajos de campo, se ha comprobado que esa descripción se corresponde en la realidad con las siguientes capas (figura 7):

La capa exterior es de tierras blanco-amarillentas, con tonalidades azuladas en algún caso. Se obtienen de zonas localizadas de la isla y no siempre en el entorno más próximo de la vivienda. El material, aunque localmente se denomina *argila* (arcilla), geológicamente se corresponde con margas o margo calizas.

Esa capa exterior de margas tiene un espesor de 10 cm, que puede variar por las pendientes. Sorprende que esta dimensión sea bastante inferior a lo indicado por la bibliografía referida a las cubiertas de Ibiza (que habla hasta de 30 cm), así como también a la de otras cubiertas de la cuenca mediterránea (que llegan a 40 cm). Esto permite suponer que este material debe tener muy buen comportamiento hídrico, cosa que se ha confirmado en los ensayos, como luego se indica.

La capa intermedia de tierra de carbonera, ya sea proveniente de los rescoldos de los hornos de cal o de carbón, tiene un espesor de aproximadamente 8 - 10 cm. El hecho de que en algunos corrales y casas abiertas esta capa no exista, podría querer decir que es innecesaria en edificios no vivideros, lo cual po-

dría asociarse a una posible función de aumento de inercia térmica de esta capa. Esta afirmación requeriría un estudio que no se ha abordado en la presente investigación.

La capa interior de alga posidonia tiene un espesor de unos 2 a 3 cm, aunque es muy probable que en el momento de su colocación, el espesor fuera mayor antes de sufrir la compactación por el peso de las capas superiores. La obtención de las algas (material arrancado por el mar y depositado en las calas), supone el aprovechamiento sostenible de materiales sin alterar ecosistemas, limpiando la costa. Además la colocación de las mismas, tal como son recogidas, con sal y enredadas las largas hojas de la posidonia, forma una capa entretejida y continúa en superficie que se mantiene en el tiempo.

Se confirma que la estructura de rollizos de sabina local, el entrevigado, se cubre con *tegel* o *teixell*, tablillas de sabina, con tableros de marés en zona de viviendas y cañizo o ramas de sabina o brezo llamado *sapell* principalmente en corrales.

Las capas que forman la cubierta, margas, tierra de carbonera, algas posidonia y elemento de apoyo superficial (tablillas, cañizo, ramas,…) entregan hasta la mitad del espesor del muro perimetral de cada casa; la otra mitad del muro forma un peto que supera la altura de la cubierta y protege la unión de ambos, cubriéndolo con la última piedra (figura 7).

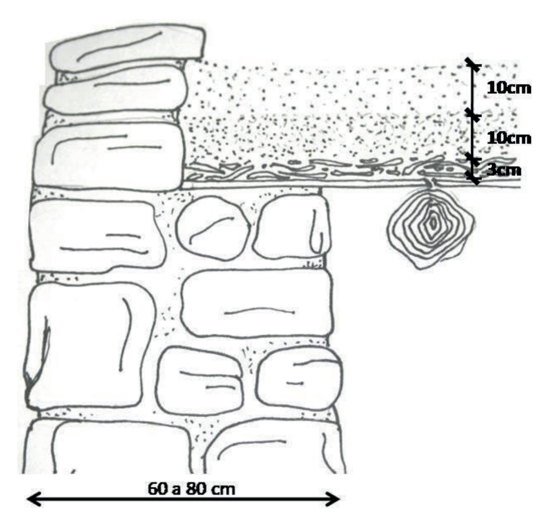


Figura 7
Encuentro de cubierta con muro (Autoras)

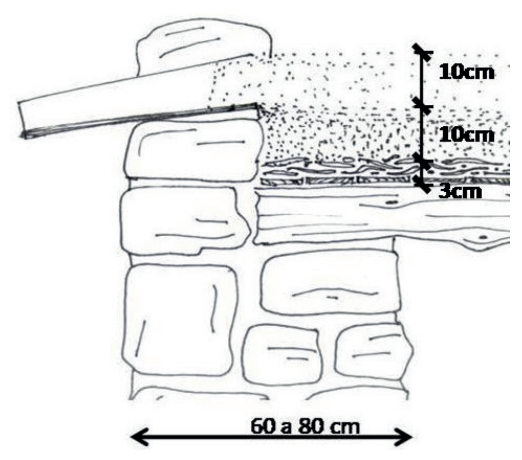


Figura 8
Salida de agua (Autoras)

Las salidas de agua se resuelven de modo similar utilizando medio tronco de sabina horadado, teja curva o piedra tallada, como gárgola. Esta se apoya y fija al muro que forma el peto, a la altura de la cara superior de la capa intermedia de tierra carbonera, y la capa de margas avanza sobre ella evitando juntas.

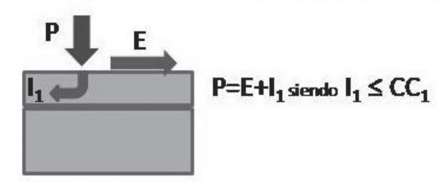
La falta de publicaciones sobre el comportamiento hídrico de estas cubiertas, ni de la respuesta de la sección ante las precipitaciones, obliga a realizar unas primeras hipótesis sobre dicho comportamiento, especialmente en lo que se refiere a la capa superior, cuya misión, y (en conformidad a la bibliografía), sería la impermeabilización de la cubierta. Se ha buscado confirmar dicha hipótesis mediante unos primeros ensayos.

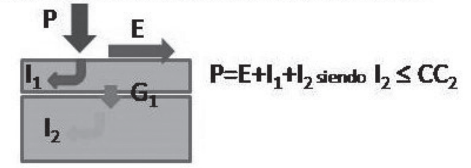
En la bibliografía se identifica la capa vegetal inferior como capa de protección de humedad de la estructura de madera o como aislamiento térmico. A la capa intermedia no se le asigna una función específica. Podría responder a una razón de aislamiento térmico, pero eso no explicaría las variaciones de espesor de dicha capa de unos ejemplos a otros. Si lo que determina el espesor de la capa intermedia es la necesidad de absorber el agua que se infiltra tras la escorrentía, cuanto más estrecha fuera la capa indicaría menor infiltración a través de la capa exterior.

Si se considera como hipótesis de partida que todas las cubiertas consiguen la misma efectividad ante las precipitaciones, la sección de espesor menor sería la más eficiente de ellas.

El papel de la capa exterior ante la precipitación debería ser conducir la escorrentía del agua hacia la gárgola, y reducir la infiltración. Si esta capa se deteriora, ya sea por las limitaciones del material o por los cambios físicos de la superficie por efectos externos (fisuras por cambios térmicos o de humedad, plantas, etc.), se podría producir una infiltración de agua a través de ella, llegando a la capa intermedia, la cual debe retener ese agua infiltrada y evitar que alcance al interior.

Las cubiertas de Ibiza tienen un espesor total claramente inferior a las africanas y a las demás cubiertas españolas. La capa de acabado formada por las margas tiene un espesor de 5 a 10 cm y no se producen incrementos de los espesores a lo largo del tiempo por refuerzo o reparación. La capa intermedia se mueve en el entorno de los 10 cm. Este reducido espesor de ambas capas significa una mayor eficiencia de esta cubierta. Para comprobarlo es necesario ensayar el comportamiento de los materiales de las capas de remate superior, e identificar sus características propias respecto a la lluvia.





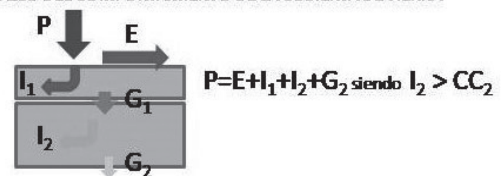


Figura 9
Esquema de comportamiento hídrico de la cubierta de tierra (Autoras)

Ensayos de comportamiento de la capa exterior de la cubierta de Ibiza

La respuesta de la cubierta plana de tierra ante las precipitaciones ha de ser muy similar a la de cualquier terreno. La Infiltración o humedecimiento del suelo es el volumen de agua que procedente de las precipitaciones, en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo (Custodio y Llamas 2001). De acuerdo con la teoría, el análisis del comportamiento del agua de lluvia que llega a la superficie de la cubierta de tierra, formada por dos capas de tierras, capa exterior (capa 1) y capa intermedia (capa 2) sería la recogida en la figura 9. Una descripción más detallada de este comportamiento y de los ensayos se recoge en un artículo publicado anterior (Escudero Lafont y García Morales 2019).

Proceso del Ensayo

Se ensaya arena de miga como material muestra y dos de los materiales obtenidos de las Covas de Ibiza, caracterizadas por el laboratorio CAI de Técnicas Geológicas de la Facultad de Geológicas de UCM: Cova de Can Miquelet y Cova Ctra. San Vicent. El ensayo se realiza con el esquema de la figura 10.

El agua **P** que se vierte sobre las probetas será la equivalente a la media mensual, 29 mm. En el ensa-

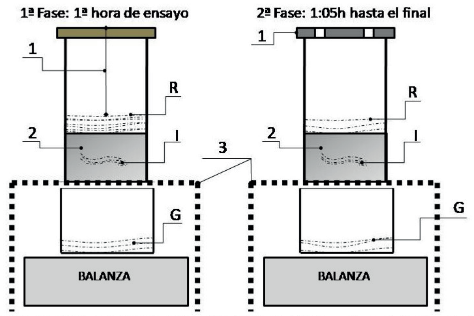


Figura 10
Esquema de ensayo (Autoras)

yo se mantiene constante la altura de **P** (29 mm), durante una hora, lo cual equivale a una solicitación de lluvia mucho mayor que la real.

Se vierte el agua **P** y cada 5 minutos se va reponiendo la cantidad necesaria para mantener el nivel, controlando el peso de agua que se echa. La cuantía de agua repuesta equivale a la que se ha infiltrado en dicho intervalo, y con ello se cuantifica la Capacidad de Infiltración (***f***), (volumen de agua infiltrada en unidad de tiempo) de la tierra analizada, y su evolución.

Transcurrida la hora en la que se mantiene el nivel de **R**, se deja de reponer agua, y se va midiendo, a partir de ese momento, el ritmo de infiltración (midiendo cada 5 minutos la altura del agua todavía retenida **R**, y además se va pesando **G**.

Los datos que se analizan son: la Capacidad de infiltración (que determina el comportamiento de dicho material ante las precipitaciones), el agua gravídica, (que sería índice de aparición de goteras) y se obtiene la **CC** de los terrenos, su capacidad de retención, y con ello la sección necesaria para una determinada precipitación (Tabla 1).

La arena de miga, bastante permeable, infiltra el agua rápidamente (2:35 h). La marga, sin embargo, retiene el agua mucho tiempo, e incluso no aparecen gotas de agua gravídica G, en la parte inferior, hasta pasadas 3:10 horas.

Para el caso de la margo caliza, no se llega a filtrar agua G incluso manteniendo el ensayo 49 horas, manteniendo 21 mm agua en superficie. La Capacidad de Campo CC de esta marga es 22,01%, es decir, absorbe menos agua incluso que la Marga anterior. Todo esto muestra que esta margo caliza puede considerarse impermeable.

Material	Arena de miga	Marga C. Miquelet	Margo caliza Sant Vicent
Duración (h)	2:35	81:30	49:00
P_i(mm)	28,00	28,33	29,00
P_f(mm)	79,96	41,43	38,29
f_i(mm/min)	2,20	0,44	0,83
f_c(mm/min)	0,60	0,17	0,08
CC (%)	25,04	40,50	22,01
G (L/m^2)	56,34	8,89	0,00
V_G(mm/h)	24,96	0,28	0,00
G (%)	74,16	21,46	0,00
G: t_i(h)	00:05	03:10	00:00
t_f(h)	02:15	73:50	00:00

Tabla 1
Resultados

Conclusiones

Como resultado de los ensayos se puede concluir que las margas de Ibiza han demostrado ser materiales de impermeabilización excelentes, Incluso con espesores menores a los utilizados en cubierta. Con la margo caliza, no se produce llegada de agua a la capa intermedia.

En la marga, lo que debería retener la capa intermedia sería 8,89 L/m^2. Si ésta fuese de arena de miga de espesor 5cm, quedaría retenida por esta capa alcanzando solo el 8,08% de su **CC** por lo que tampoco se producirían goteras. Lo que permite afirmar que la cubierta con esta marga es impermeable.

Con el presente estudio se ha mejorado el conocimiento científico del comportamiento de los materiales de estas cubiertas. Se ve necesario, sin embargo, continuar caracterizando su funcionamiento (aspectos térmicos, por ejemplo), y establecer propuestas de conservación y mejora de su durabilidad, para evitar la desaparición de este patrimonio construido, ahora en peligro.

Notas

1. Proyecto CORPUS, conjunto de programas operativos, perteneciente a Euromed Heritage. Primer programa cultural de la Asociación Euromediterránea, financiado por la Comisión Europea y su objetivo es explorar los campos cubiertos por una extensa noción de patrimonio.
2. Tostón, L.A. Profesor de geología del I.E.S. Sa Blanca Dona en Ibiza, divulgador y estudioso de la geología local, unos de los responsables del área de geología de la Enciclopèdia d’Eivissa i Formentera y comisario de exposiciones.

Lista de referencias

Baglioni, E. 2010. Il Patrimonio Architettonico in Terra Cruda Nella Valle del Drâa Marocco. En *Construcción*

con Tierra. Tecnología y Arquitectura, 77-88. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva E.T.S. Arquitectura de Valladolid.

Blakstad, R. 2013. *La Casa Eivissenca.* Ibiza: J.J. de Olañeta.

CORPUS, 2002a. Meda-Corpus. www.meda-corpus.net/eng/gates/pdf/f2/D01_GRE.PDF

CORPUS, 2002b. Meda-Corpus. www.meda-corpus.net/eng/gates/pdf/f2/D03_GRE.PDF

CORPUS, 2002c. Meda-Corpus. www.meda-corpus.net/eng/gates/pdf/f2/D01_LB.PDF

CORPUS, 2002d. Meda-Corpus. www.meda-corpus.net/eng/gates/pdf/f2/D01_JOR.PDF

CORPUS, 2002e. Meda-Corpus. www.meda-corpus.net/eng/gates/pdf/f2/D01_PAL.PDF

Custodio, E y MR. Llamas. 2001. *Hidrología Subterránea. Vol. 1 2ª Edición*, 342-349 Barcelona: Ediciones Omega, S.A.

Escudero Lafont, ME y S. García Morales. 2019. Cubiertas históricas planas de tierra en el mediterráneo. Investigación para la descripción del sistema constructivo. Historical flat roofs of Earth in the mediterranean. Research for the description of the Constructive system. *Informes de la Construcción,* 554.

Feduchi, L. [1976] 1979. *Arquitectura Popular Española.* Barcelona: BLUME.

Ferrer Abúrbuzuza, 1998. Arquitectura Tradicional Eivissenca. *Quaderns D´Arquitectura Pitiüsa. Vol. 4.* Eivissa: Consell Insular d´Eivissa i formentera.

Flores, C. 1973. *Arquitectura popular española Vol. 5,* 187-293. Madrid: Aguilar.

Gil Albarracín, A. 1992. *Arquitectura y Tecnología Popular en Almería,* 105-113. Almería: Griselda Bonet Girabet GBG.

Guibbert, JJ. 1982. The Ecology and Ideology of cities on the Edge of the Desert. En *Reading the Contemporany African City,* 9-26. Senegal: Khan Award for Architecture.

Hausmann, R y E. Heilbronner. 1936. Elementos de la Arquitectura rural en la isla de Ibiza. *A.C.,* 6 (21): 11-25.

Joachim, F y P. Rotthier. [1984] 2013. *Eivissa. El palau pagès.* Eivissa: Taller d´Estudis de l´Habitat Pitiús a Eivissa.

López Osorio, JM y J. Abadía Molina. 1998. Cuevas, Cubiertas y muros de tierra en la provincia de Granada. En *Encuentro Internacional Centro de Investigación Navapalos,* 267-278. Madrid: Ministerio de Fomento.

Maleka, K. 2013. Principio de la Arquitectura Griega. En *La arquitectura construida en tierra. Patrimonio y vivienda,* 65-72. Valladolid: Junta Castilla-León. Univ. De Valladolid.

Muhler, E. [1982] 2002. La Aruiqtectura rural de Ibiza como forma de construcción aglutinada. En *Arquitectura y espacio rural en Ibiza,* 67-111, 4ª ed. Ibiza: Colegio Oficial d´Arquitectes Illes Balears; Demarcació d´Eivissa i Formentera.

Nourissier, G., Reguant, J., Casanovas X. y C. Graz. 2002 *Arquitectura Tradicional Mediterránea.* Barcelona: Grup 4.

Ribas, J. y S. Roig. 2014. *Païsses.Un móm per no oblidar.* Ibiza: Mediterrànea Eivissa.

Serra Rodríguez, JJ. 2000. *Fortifications rurals a I´lla d´Eivissa.* Ibiza: Mediterrànea-Eivissa; Consell Insular d´Eivissa i Formentera.

Soriano Alfaro, V. 2006. *Arquitectura de tierra en el sur de Marruecos. El Oasis de Skoura.* Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos.

Valiente Soler, JM. 1998. El habitat rural de la isla blanca. Ibiza. En *Arquitectura de tierra. Encuentro Internacional Centro de Investigación Navapalos,* 267-278. Madrid: Ministerio de Fomento.

Varanda, F. [1981] 2009. *Art of building in Yemen.* 2ª ed. Lisboa: Argumentum.

Verdera, C y C. Lenaerts. [1982] 2002. Detalles de Arquitectura rural Ibicenca. En *Arquitectura y espacio rural en Ibiza,* 113-123. 4ª ed. Ibiza: Colegio Oficial d´Arquitectes Illes Balears; Demarcació d´Eivissa i Formentera.

Violet-Le-Duc, EM. [1875] 1945. *Historia de la vivienda humana.* Editorial: Victor Leru.

La iconografía medieval en el estudio de los medios auxiliares en la construcción: el caso de los andamios

Lorena Fernández Correas

El estudio que sigue continúa el comenzado hace unos años, con el objeto de analizar los medios auxiliares en la construcción medieval e inicios del Renacimiento, y cuya primera parte fue expuesto en la edición anterior.

Así pues, estas líneas amplían el trabajo expuesto en el X Congreso Internacional de Historia de la Construcción (Fernández 2017) dedicado a la investigación de las máquinas elevadoras de pesos en la construcción medieval, centrando especial atención al análisis iconográfico de las grúas. En él, se realizó una revisión del estado de las investigaciones de esta materia, la cual prosigue en el hilo argumental de esta comunicación.

Abordaremos sucintamente, debido al espacio, la problemática que presenta el estudio de los medios auxiliares en época medieval, dada la escasez de fuentes documentales y las corrientes estético-artísticas de la época, que condicionan las representaciones artísticas del momento. Ellas serán objeto del estudio de esta comunicación que les dedicará un breve análisis a una muestra de imágenes escogidas.

Fuentes iconográficas: problemática y complejidad para los recursos de primer orden

Al igual que en el estudio anterior apuntábamos que la documentación se torna una fuente secundaria, en el caso de los medios auxiliares nos encontramos con la misma casuística; esto es, una escasez de testimonios que hablen de andamiajes o sistemas de transporte per se, siendo las referencias encontradas meras descripciones de las estructuras , normalmente enmarcadas en el campo de la economía y logística de la obra, resultando por tanto un sostén mínimo para nuestro estudio y un marco de referencia.

De este modo, dicha ausencia de una tratadística científica y de cuadernos compendio de saber de ingeniería o arquitectura, sumada a las escasas muestras arqueológicas que han llegado a nuestros días debido al carácter efímero de sus materiales y concepción, sitúan a la iconografía como fuente imprescindible en la investigación de estos sistemas auxiliares en la construcción medieval.

Sin embargo, el rastreo de las imágenes es harto complicado puesto que no contamos con una literatura de la construcción propiamente dicha y su representación puede darse en multitud de manifestaciones distintas.

Así pues, encontramos muestras de actividades constructivas, o facetas de la labor de la construcción, en diversos soportes como:

- Relieves: bien en capiteles[1] o en decoraciones[2] de diferentes espacios.
- Pinturas al fresco:[3]tanto en espacios religiosos como civiles.[4]
- Mosaicos: siendo los más destacados los de la Catedral de Monreale, Sicilia (s. XII) y la Basílica de San Marco de Venecia (s. XII), con las construcciones de Torres de Babel.

- Textil: como el Tapiz de Bayeaux (s. XI) con la representación de distintos oficios, como carpinteros.
- Vidrieras:[5] ofreciendo detalles tan interesantes como el empleo de la plomada, como sucede en la Catedral de Bourges (s.XIII).
- Pinturas en soportes móviles como tablas o retablos: como el caso del de Santa Bárbara en la Iglesia de Cocentaina, Alicante (S.XV), quien asiste a la construcción de una torre.
- Miniaturas en manuscritos: son los ejemplos más abundantes pudiéndose encontrar ilustrando pasajes o formando parte de iniciales miniadas.



Figura 1
Santa Hedwig construyendo un monasterio, *Leyenda de Santa Hedwig*, 1353 (Silesian, Poland)

Cabe destacar la complejidad que supone la búsqueda de esta clase de iconografía en los programas decorativos, las fuentes literarias y la literatura, puesto que no ilustra la actividad que representa. En su mayoría corresponden a episodios bíblicos y literatura histórico-propagandística durante los años del Medievo, hasta que con los albores del Renacimiento podamos contar con los extraordinarios testimonios de los cuadernos de ingenios, tales como el de Villard de Honnecourt o Taccola.

Consecuentemente, el análisis de las fuentes literarias debe abordarse con sumo cuidado puesto que el texto no ofrece interés a nuestro estudio, relegándose sólo a la ilustración de lo narrado, que como acabamos de indicar, dificulta la labor de rastreo, puesto que no está tipificado o estructurado. No hay una literatura de la construcción, sino que se debe recurrir a los episodios donde se sabe que se narra un proceso constructivo. Entiéndase, que no existe una clase de literatura que se dedique a narrar hechos constructivos de la misma manera, por ejemplo, que la hagiografía narre la vida de los santos; las escenas de construcción suelen aparecer como telón de fondo para ilustrar un pasaje de una narración perteneciente a una obra cuyo género o argumento nada tenga que ver con el alzado de un edificio. Valga como ejemplo el manuscrito de la Leyenda de Santa Hedwig (1353), donde aparece la construcción de una iglesia bajo su supervisión (figura 1) Los Ángeles, The Paul Getty Cener. Ms Ludwig XI, fol.56). La obra relata la vida y hechos de la santa; así pues, si no se conoce la existencia de ese pasaje, es imposible adivinar que en su interior se halla una escena de construcción, puesto que el argumento hagiográfico no lo contempla per se.

Existen determinados pasajes que sí son dados a la representación de la construcción como es el caso en la literatura bíblica de la Torre de Babel[6] o la construcción del Templo;[7] también contamos con otros fragmentos donde el texto religioso narra una construcción como es el caso de José y la construcción del granero para el faraón;[8] Zorobabel y la reconstrucción del Templo[9] o la construcción de una casa para Yahvé por David.[10] En cambio no en todos los libros se haya iluminadas. Por el contrario, hallamos otros pasajes en los que no es habitual encontrar representación alguna, pero se ha decidido ilustrar, como por ejemplo la construcción del Tabernáculo.[11]

Del mismo modo, no es posible adivinar los pasajes miniados en las fuentes literarias de carácter mitológico, como por ejemplo la construcción de Tebas o Babilonia. Menos aún en la literatura histórica, abarcando desde la historia entremezclada con la propia mitología y leyenda como lo es la reconstrucción de Atenas, la fundación de Roma o la construcción de Alejandría, o, pasajes con cierto carácter realista, como son las crónicas de los reyes y sus pueblos (figura 2) o las vidas de los santos entre la realidad y el ensalzamiento ficticio.

Bien es cierto que dentro de este maremágnum hay determinados temas más susceptibles de ser ilu-



Figura 2
Construcción de un edificio, *Crónicas y conquistas de Carlomagno*, circa 1450. Bruselas, Biliotèque Royale. Ms 9068, fol.289



Figura 3
Escena de Construcción, *Speculum humana e salvationis*. Mitads. XV, Viena, Österreichische Nationalbibliothek. Cod. Series nova 12883, fol.110v

minados; por ejemplo la construcción de Troyes por los autores franceses, quienes sienten debilidad por reivindicar sus raíces legendarias y suelen sucumbir a la profusión de recursos en la ilustración de tan glorioso episodio.

Siendo éstos géneros literarios los más proclives a una cierta probabilidad de su representación, huelga mencionar la complicación que supone abordar la teología, literatura didáctica o la poética donde los casos son casi fortuitos, aunque se hallan en cambio un par de obras propicias a ser iluminadas, como es el Speculum Humana e Salvationis (figura 3) o el Roman de Girart de Roussillon.

Modelos

En contrapunto a la dispersión mencionada a la hora de rastrear las iluminaciones que aborden un tema constructivo, dentro del corpus de las imágenes encontramos algunos ejemplos de modelos tipificados; tal es el caso de la Torre de Babel, donde el esquema de la torre prácticamente finalizada con una notable representación metafórica, se repite constantemente (figura 4), aunque pretendan representar que se encuentran en diferentes fases del proceso constructivo. También es digno de mención casos como el de la Crónica del Mundo[12] (figura 5) o la Bouquechardière,[13] que repite una ordenación muy similar a la de la Torre de Babel; se crea en sí mismo un arquetipo puesto que, encontramos que el mismo tema interpretado por diferentes iluminadores tiene la misma disposición, siendo lícito pensar en un modelo original copiado o estipulado; los copistas toman el motivo principal modificándolo según su conveniencia, como se puede observar al comparar la misma escena, donde la elección de los personajes y lugar son idénticos modificando en cambio el fondo del escenario, posturas, gestos y detalles. Sin embargo, aun cuando se altera por completo la fisionomía de las personas o las edificaciones, la composición y disposición de los elementos es la misma.

Así pues, un acercamiento al estilo de las imágenes facilita la datación e interpretación y nos habla de la posibilidad de ser factible la información que otorgan. Observando siempre desde el prisma del anacronismo, puesto que representan pasajes de épocas pasadas en circunstancias contemporáneas al momento de ser ejecutas, cabe pensar que si son ve-

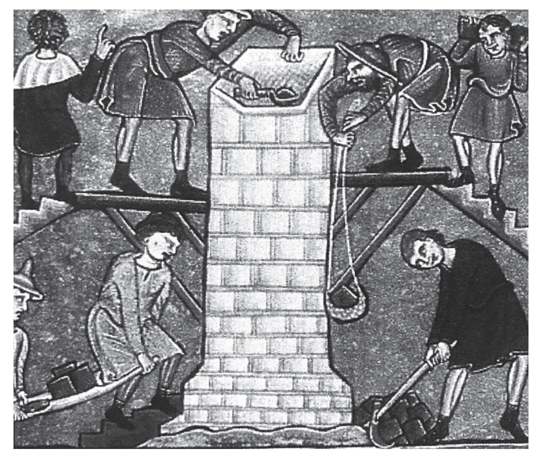


Figura 4
Construcción de la Torre de Babel, *Salterio* inglés, circa 1222. Munich, Bayerische Staatsbibliothek. Cod.lat.835, fol.10

races en otros puntos representados, también lo sean en el tema constructivo. Debemos matizar y comprender bien estas afirmaciones puesto que las imágenes son partícipes de una estética y de unas corrientes filosóficas y de pensamiento del momento en donde la representación de determinados trabajos se dignifica en detrimento de otros; del mismo modo que son deudores de la época histórica en la que viven y participan del lenguaje visual que ofrecen las artes en la didáctica, simplificando quizá ciertos aspectos técnicos para hacerlo más comprensibles; del mismo modo que son herederas de una corriente artística predominantemente sintética donde el recreo en ciertos detalles de lujo o propagandísticos ensombrecen los técnicos. Sin embargo, todas ellas son lo suficientemente explícitas como para poder obtener información, comprendiendo e interpretando dicho sincretismo, que no desestimándolo.

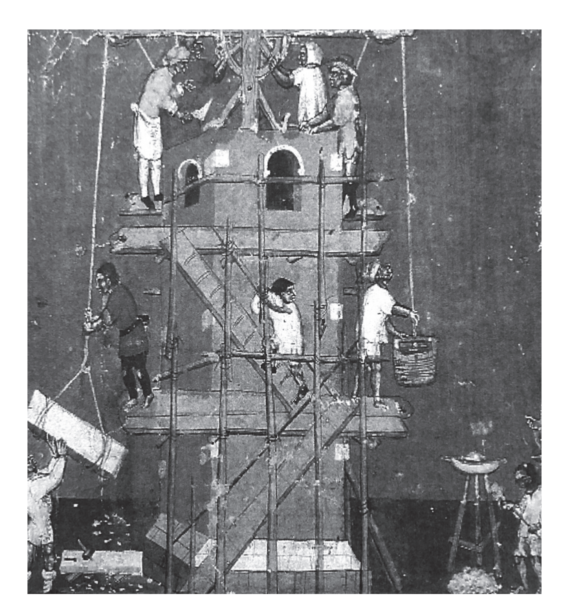


Figura 5
Construcción de Torre, Crónica del Mundo. 1385, Kassel, Landes und Murhardsche Bibliothek.Ms.theol.4, fol.28

Imagen accidental[14] como fuente principal para el proceso constructivo: el caso de los andamios

A la luz de las imágenes podemos realizar un estudio no sólo de estos medios auxiliares en la construcción como agentes colaterales, sino también de su presencia y uso a lo largo del proceso constructivo, lo que manifiesta claramente que no son un motivo casual decorativo dentro de la escena miniada, sino que transmiten una situación real. El hecho de que aparezcan durante los diferentes pasos de la construcción revela también la idea de que son necesarios en sus diferentes grados, comprobando que en cada uno de ellos se requieren estructuras diversas, lo que ratifica nuestra idea de estructuras efímeras que iban adaptándose en función de la necesidad y requerimiento del momento.

Tipos de andamios

Englobando, dentro de andamiajes, a todas aquellas estructuras empleadas como medios para alcanzar determinadas alturas en la ejecución de la obra, encontramos diferentes formas. Éstas responderían al trabajo al que ofrecen soporte, condicionadas por el lugar y los materiales necesarios para el desarrollo de la labor en sí; a juzgar por el abanico de distintas soluciones con las que se resuelven los andamios, cabe suponer que irían adaptándose al espacio siendo creadas exprofeso, reemplazadas cuando fuera necesario y acondicionadas para el peso que debieran sostener.

Así pues, a grandes rasgos, podemos realizar la distinción entre:

– Estructuras voladas:

Este modelo es el más repetido en las representaciones más antiguas. Suele componerse de puentes volados(en ocasiones ayudados mediante tornapuntas) apoyándose en la fábrica en ejecución. Es el modelo que vemos en la figura 4, donde se representa una plataforma simple, básica pero donde se ve fácilmente la estructura de dobles agujas en el muro sosteniendo una superficie robusta, quizá unida mediante entalle de las piezas. Estos primeros sistemas deberían aguantar el peso de los operarios que laboran al igual que los materiales (de ahí esa presunta robustez) y se accedía a ellos a través de escaleras; en este caso parecen ser de obra, lo que puede ser interpretado dentro del sincretismo imperante en la escena y realmente de lo que hablan es de un acceso desde la propia configuración del edificio.

Esa misma estructura se ve en la Torre de Babel de la Biblia Historiada (figura 6: Torre de Babel, *Biblia historiada*, circa 1250. Manchester, John Ryands University Library, Ms.fr, fol. 16) donde se aprecia que la plataforma no necesita un par de agujas para ser sostenida; podría interpretarse como la consecuencia de un andamio más ligero, ofreciendo otra visión de los mismos. Otra novedad con respecto a la imagen anterior, son los diferentes planos representados, distinguiéndose tres profundidades, y los instrumentos como polipastos y archipendulum; si bien están tratadas de forma muy esquemática, no es menos cierto que están evidenciando los atributos más importantes en la ejecución de la obra. Es decir, no es simplemente un tema estereotipado si no que se está plasmando una actividad propiamente, y se es conocedor de la valía de cada uno de los detalles.

Otro ejemplo muy interesante es el de la Welislaw Babel (figura 7) donde la estructura de trabajo ofrecida es diferente, situando a la grúa a nivel de suelo



Figura 6
Torre de Babel, *Biblia historiada*, circa 1250. Manchester, John Ryands University Library, Ms.fr, fool 16

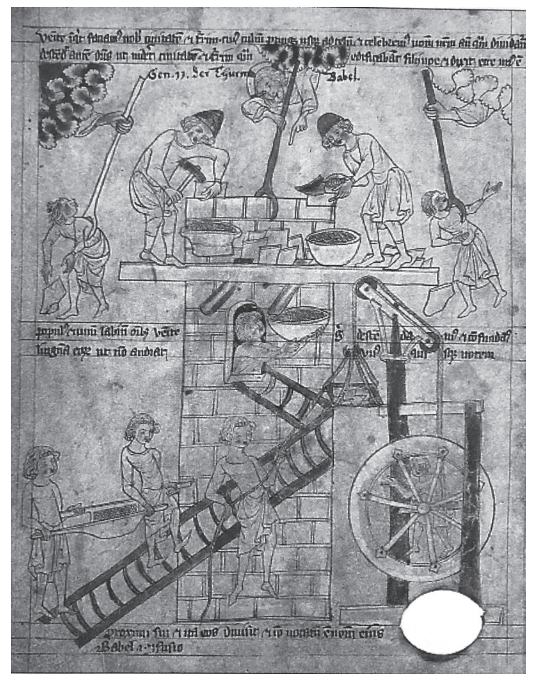


Figura 7
Torre de Babel, *Welislaw-Babel,* circa 1340. Raga, Staatbibl, Ab.Universitäts bibl Lign. Lob 412, fol. 11b

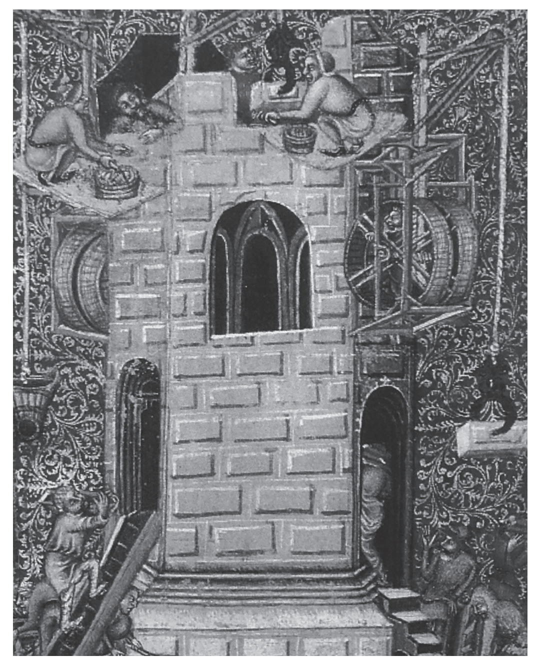


Figura 8
Torre de Babel, *Biblia Wenzel de Praga,* 1390-1400. Viena, Österreichische Nationalbibliothek. Cod. 2759, fol. 10v



Figura 9
Torre de Babel, Rudolf von Ems, *Crónica del Mundo*, circa 1400 -1410. Los Ángeles, J. Paul Getty Museum. Ms 33, fol 13

(no dentro de la propia arquitectura, como en la figura 6) y contemplando un momento de actividad de alzado del tajo mismo; la grúa alza los materiales, que dejan en la plataforma junto con las espuertas con mortero y los albañiles van laborando con paletas y mazas. Podemos suponer que el andamio se iría subiendo conforme gana altura el muro, al cual llegan los materiales más pesados gracias a la grúa y los más ligeros gracias a escaleras; tanto en esta imagen como en la anterior, las escaleras son de mano, que facilitaría su movimiento donde fueran necesarias (no como las de la figura 4).

Un hecho a destacar de esta imagen, y que se encuentra en contadas ocasiones, es la falta de medidas de seguridad en los andamios; vemos como un par de operarios que habrían precipitado al vacío, son rescatados por intervención divina.

Estas plataformas voladas comparten espacio en el lienzo del muro junto con otra clase de andamiajes encastrados, los que encierran las grúas (figura 8). Esta solución permite aproximar en altura a las máquinas y facilita el flujo de materiales.

Tanto unos andamios como otros, al ser desmontados debían dejar los travesaños en la propia configuración del muro, siendo cortados a ras de él. Sin embargo, en ocasiones, por la propia naturaleza de la madera que al degradar se eliminaba o, por que se extraían de la pared, se generaban mechinales que salpicaban la fábrica. Dichos orificios también son representados, como es el caso de siguiente imagen (Figura 9: Torre de Babel, Rudolf von Ems, *Crónica del Mundo*, circa 1400 -1410. Los Ángeles, J. Paul GettyMuseum. Ms 33,fol 13). Se perciben inundando la piedra y dejando constancia de las diferentes alturas que han ido empleándose, puesto que se ven claramente dos líneas a distinto nivel.

Mucho más gráfico es el caso de la escena de la figura 3: en ella se observa perfectamente el proceso, además de mostrar otra clase de estructura de madera imprescindible como es la cimbra del vano que están conformando. Asistimos a la confección de una posible ventana, en la que trabajan desde una firme plataforma volada; es ésta no se distinguen solamente los tablones de madera, sino que captan la atención los listones que los unen perpendicularmente. Esos mismos listones han sido dejados en la pared en el nivel inferior; al concluir la faena a esa altura, se ha des-



Figura 10
Construcción de un templo, *Grandes Crónicas de Saint Denis,* circa 1420. Toulousse, Bibliothèque Municipale. Ms 512, fol. 96



Figura 11
La construcción de una iglesia, *Las Crónicas de Hainaut,* 1465. Bibliothèque Royale Albert I, Brussels .Ms 9243, fol. 168

montado la plataforma y se ha llevado a una altura superior. Ese mismo procedimiento se habría llevado a cabo dos niveles más abajo, donde ya vemos la ausencia de uno de esos listones, dejando la forma del mechinal, siendo visibles estos agujeros en el parte más baja del muro.

Dicho sistema de andamios volados, más o menos ligeros, convivirían también con los más pesados que se apoyaban en el suelo; tal es el caso que observábamos en la figura 1 de Santa Hedwig. Junto con el voladizo que recorre la parte superior del edificio, encontramos un andamio que parte del nivel inferior. Su afilado poste nos da idea de ser anclado al suelo y la sujeción reforzada con elementos horizontales conectados directamente a la fábrica en construcción. La unión entre los travesaños y la estructura se realizaría mediante cuerdas, como se puede observar junto al pie del operario.

– Andamios apoyados en el suelo:

Como ya se apuntó anteriormente, los andamios van adquiriendo su forma según la necesidad y morfología del espacio. De este modo, encontramos esta clase de andamios apoyados en el suelo tanto para soluciones complejas como más sencillas. Es el caso de esta escena (figura 10), que si bien es sencilla es bastante elocuente: una estructura básica con plataforma que parece de mimbre, alcanzable con una escalera de mano y que debía ser suficiente para la tarea que se desempeñaba, como sostener el mortero que se está trabajando a su pie.

Esta forma más escueta se dispondría para trabajos con mayor espacio y que requiriesen mayor firmeza. En la siguiente imagen (figura 11) se percibe la robustez de la tarima y de los postes que la sostienen, además de las crucetas y travesaños necesarios para su configuración. Un hecho relevante en esta miniatura es que sitúa el andamio dentro de la obra, ubicación poco frecuente en las representaciones pero que nos habla de un realismo y observación del natural.

Refuerza esta idea la siguiente imagen (Figura 12: Leyenda de Jibarada de St.Gallen, Konrad Sieler, *Der Heiligen Leben,* S.XV St. Gallen, Stiftsbibliothek. Cod. 602, fol.377) donde observamos que se muestran dos cuestiones poco habituales: la disposición de los andamios tanto dentro de la propia obra como fuera, hablando así de la simultaneidad de



Figura 12
Leyenda de Jibarada de St. Gallen, Konrad Sieler, *Der Heiligen Leben,* S.XV St. Gallen, Stiftsbibliothek. Cod. 602, fol. 377



Figura 13
Construcción de la Torre de Babel, *Biblia,* 1469 -1473. París, Biblioteca Nacional, Ms fr 19, fol. 81v

trabajos y medios. Y el segundo, es otro accidente laboral: un operario debe ser socorrido por un compañero, lo cual deja latente no sólo la inseguridad de las obras a nivel humano si no las posibilidades de caída de materiales, colapsos, etc.…que podían acaecer en la obra como parte del trabajo mismo.

Paulatinamente, van adquiriendo complejidad y los artistas van plasmándolo con mayor detalle. Tal es el caso de la figura 5, donde incluso las desproporciones de tamaño van suavizándose y se presta más atención al trabajo. Estos andamios cuentan con varias alturas, lo que nos indica que esta clase de estructura no era simplemente para acceder al tajo del muro, si no que valía para poder moverse libremente por los diferentes niveles de la obra; así pues, en el primer piso se ven a un par de trabajadores que van controlando el alzado de materiales, cuyo destino final son los albañiles de dos alturas más arriba. Esta disposición hace que se vuelva más compleja la definición del andamio y sean necesarios listones en horizontal que afiancen la estructura vertical (como se percibe entre una plataforma y otra) y otros a modo de pseudo-triangulación para dar estabilidad.

Con respecto a la conexión, no se muestra con escaleras de mano si no mediante rampas que unían las plataformas, y en las que el artista se ha molestado en dibujar las traviesas que valdría para facilitar la subida por ellas. Las uniones entre todos estos elementos estaban realizadas mediante cuerda, mucho más elaborada su ejecución que la ligera que encontrábamos en la figura 1.

Esos diseños de andamios cada vez más prolijos como los que muestra la figura 2, ofrecen interesan-

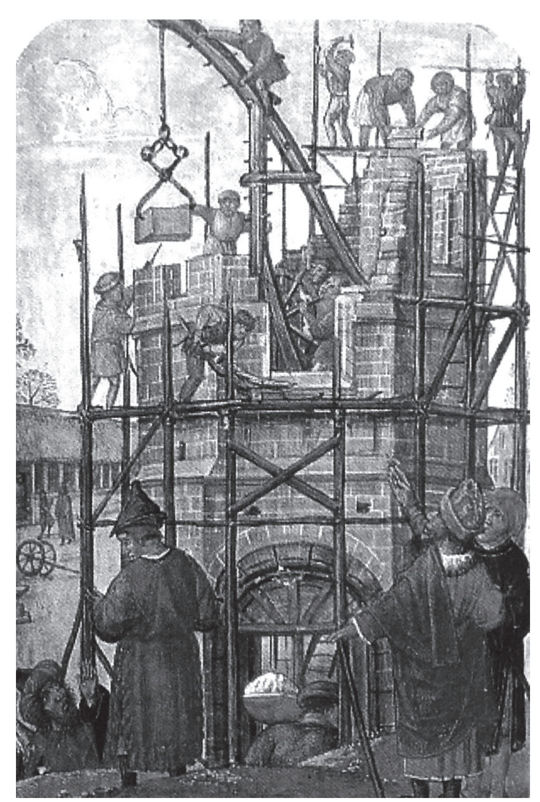


Figura 14
Construcción de la Torre de Babel, *Libro de Horas de la Reina Juana de Castilla*, circa 1500. Londres, British Library. Add. Ms 35313, fol. 34

tes detalles como la manera de afianzar la base de los mismos; se puede observar cómo lo resuelven mediante cuñas o piedras para reforzar la estabilidad.

En esta escena queda de manifiesto también el enjambre de andamios, máquinas y toda clase de herramientas que se disponían al unísono en torno a la obra en funcionamiento, en ambas caras del edificio; a través de los vanos se distinguen andamios en la parte interna, con una estructura muy similar.

La convivencia entre soluciones de andamios diversas la apreciamos muy bien en imágenes como ésta (figura 13). Junto a los andamios elevados a nivel de suelo, encontramos plataformas voladas (como las expuestas en el punto 1) de extrema sencillez y andamios encastrados en el muro, cada uno sustentando labores distintas.

El abanico de diferentes soluciones supondría ir modificando los andamios según la demanda de los mismos, in situ como se aprecia en la escena del *Libro de Horas de la Reina Juana de Castilla* (figura 14). Los carpinteros van alzando las maderas mientras todo el engranaje de la obre sigue funcionado. Si se observa con detalle, podemos ver los distintos remates, los listones a modo de crucetas, riostras e incluso una escalera incluida como parte de los elementos definitorios.

Esta imagen cronológicamente más tardía nos vale para ratificar que, si bien las escenas de inicios de la Edad Media contaban con un alto grado de abstracción, los elementos, funciones y disposición de los mismos ya se encontraban en ellas. Podríamos creer en la hipótesis, pues, de que lo representado no es invención ni fantasía si no una muestra del natural plasmado a través del tamiz de la estética imperante.

Conclusiones

Como se ha expuesto a lo largo del texto, la iconografía medieval es una valiosa y válida fuente para el estudio de los distintos procesos constructivos. Es un ejercicio de abstracción y entendimiento para poder extraer información de las escenas que, de modo sintético y anacrónico plasman una realidad.

Notas

1. Como son el caso del capitel de los monjes constructores, situado en el claustro de la iglesia abacial de Sainte –Foy en Conques (s. XII); el capitel con escenas de constructores en la nave sur de San Martín de Frómista (s.XI); o el capitel del claustro del monasterio de Santa María la Real de Nieva (s.XV).
2. Valga de ejemplo el relieve del claustro de la catedral de Gerona (S.XII), donde el obispo observa el trabajo de los canteros o el de distintas facetas de la construcción de Quattrosanticoronati, en la Iglesia de Orsanmichele de Florencia (s.XV).
3. Como por ejemplo, la Torre de Babel representada en la nave de la abadía de Saint-Savin-sur-Gartempe (s.XI); o la representada en la Basílica de Santa Catalina de Alejandría, en Galatina (s.XIV)
4. Es el caso de la Sala de la Paz en el Palacio Público de Siena, donde Ambroggio Lorenzeti pintó (1338-1339) la prosperidad de la ciudad.

5. Como por ejemplo las de la Catedral de Chartres (s. XIII) o la Catedral de Beauvais (s. XIII), con escenas de albañiles y escultores.
6. Libro del Génesis 11:4
7. 1 Reyes 6:1 y II Crónicas 3:1-15.
8. Libro del Génesis 41:47
9. Libro de Esdras 3:7
10. Libro II de Reyes 7:4
11. Éxodo 25-26
12. La *Crónica del Mundo* fue la última obra del poeta épico alemán medieval Rudolf von Ems, dedicada al rey Conrado IV en torno a 1254.
13. La *Crónica de la Bouquechardière*, es un texto creado por Jean de Courcy, artista flamenco del último tercio del siglo XV, que relata acontecimientos desde la Creación del mundo hasta el nacimiento de Cristo.
14. La imagen accidental es aquella que después de haber contemplado un objeto con mucha intensidad, persiste en el ojo, aunque con colores cambiados (Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, 22ª Edición). Por ello, es usada aquí metafóricamente para referirnos a las imágenes que ilustran un pasaje, cuya intención era la de ser recordada junto a la doctrina que acompañan, no una obra de arte cuyas intenciones estéticas o artísticas predominen sobre las didácticas.

Lista de referencias

Arciniega García, Luis: "La representación de la arquitectura en construcción al siglo XVI", *Actas del I Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid 19-21 Septiembre 1996, eds. A. de las Casas, S. Huerta, E. Rabasa, Madrid: I. Juan de Herrera, CEHOPU, 1996.

Bernardi, Philippe: *"Batir au Moyen Age*", París 2011, CNRS Editions.

Binding, Günter*: Medieval building techniques,* Tempus Published Limited, 2001.

Binding, Günter: *Baubetriebimmittelalter*. Wissenchaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt,1993

Bruyne, Edgar de: *La estética de la Edad Media*. Louvain. Ed. De L'institut superieur de Philosophie, 1947 (de la presente edición: Visor Distribuciones. S.A. 1994) Madrid, 1994.

Castelnuovo, Enrico & Sergi, Giuseppe (Coord): *Arti e storia nel Medioevo*. Vol 2. Giulio Einaudi Editore, 2003.

Colstream, Nicola: *Constructores y escultores,* Ediciones Akal, Madrid, 2001.

Colombier, Pierre du: *Les chantiers des catedrales. Ouvriers, architectes, sulpteurs.* Editions A&J Picard, Paris, 1973.

Eco, Umberto: "*Arte y belleza en la estética medieval*", Barcelona, De Bolsillo, 2012.

Epaud, Frédéric: *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie*. Publications du CRAHM, Caen, 2011.

Español, Francesca; Valero, Joan (Ed): *Les pedreres medievals a la Corona d'Aragó*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 2017.

Fernández Correas, Lorena: "La iconografía medieval como fuente de primer orden para el estudio de los medios constructivos: el caso de las grúas", *Actas del X Congreso Nacional y II Internacional de Historia de la Construcción*, San Sebastián, Octubre 2017, eds. S. Huerta, P. Fuentes e I. Gil Crespo; Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2017.

Garofalo, Emanuela (Ed): *Le arti del costruire*. Edizioni Caracol, Palermo, 2010.

Graciani, Amparo (ed.): *La técnica de la arquitectura medieval*. Publicaciones Universidad de Sevilla, Sevilla, 2000.

Lawton, Bryan: *The early history of mechanical engineering*, Editorial Brill, Boston, 2003.

Lefevre, Wolfgang (ed): *Picturing machines, 1400-1700*. Ed.Wolfgang Lefevre, Cambridge, 2004.

Long, Pamela O: *Openess, secrecy authorship*. The John Hopkins University Press, London & Baltimore, 2001.

Long, Pamela O (ed.): *Sciencie and Technology in Medieval Society*, The New York Academy of Science, New York, 1985.

Moschini, Clara (Coord): *Il cantiere del Duomo di Milano*. Silvana Edotoriale, Milano, 2012.

Piva, Paolo (Ed): *El alma de la piedra. Arquitectura Medieval.* Lunwerg Editores, Milán, 2008.

Quintavalle, Arturo Carlo (Coord): *Medioevo: le officine*. Electa, Milano, 2010.

Quintavalle, Arturo Carlo (Coord): *Il Medioevo delle cattedrali*. Skira, Milano, 2006.

Vitruvio Polión, Marco Lucio: *Los Diez Libros de Arquitectura*, Edición de Delfín Rodríguez Ruiz y José Luis Oliver Domingo. Alianza Editorial, Madrid, 2006.

Raynaud, Christiane: *Images et Pouvoirs au Moyen Age*. Le Léopard d'Or, Paris , 1993

Schröck, Katja (Hg): *Kirche als Baustelle*. Böhlau Verlag Köln Weimar Wien, 2013.

Zaragozá Catalán, Arturo (dir.): *Jaime I (1208-2008). Arquitectura año cero.* Valencia, 2008.

Zenner, Marie-Therese (ed): *Villard's Legacy. Studies in medieval technology, science and art in memory of Jean Gimpel.* Ashgate, Burlington (USA), 2004.

Aarno Ruusuvuori. Constructivismo

Jaime J. Ferrer Forés

La obra del arquitecto finlandés Aarno Ruusuvuori (1925-1992) surge de la disciplinada obstinación por la rotundidad formal y la honestidad material, conjugando el optimismo tecnológico con la racionalidad constructiva y la conexión entre la arquitectura y la industria. Como contrapunto a la línea expresiva y romántica de Alvar Aalto, su obra luminosa y rotunda combina la abstracción y la universalidad con la rigurosa coherencia racionalista del constructivismo finlandés. La investigación indaga en la constante experimentación constructiva que se inicia en la exploración geométrica de la Iglesia Hyvinkää (1958-1961) que se inscribe en los principios del estructuralismo del grupo que se aglutina en torno a la figura de Aulis Blomstedt en el Museo de Arquitectura Finlandesa y en el seno de la revista *Le Carré Bleu* fundada en 1957. El lenguaje abstracto y la sobriedad formal se conjugan en la Iglesia de Tapiola (1963-1965) y en la Iglesia Huutoniemi en Vaasa (1964) con la experimentación material del hormigón que explora el valor de las superficies estratificadas y las texturas austeras. De abstracta contención expresiva, el refinamiento constructivo de la Escuela Roihuvuori en Helsinki (1967) contrasta con la luminosa secuencia espacial que reivindica desde la cátedra en la Universidad Tecnológica de Helsinki (1963-1966). El potencial aditivo del sistema estructural y el crecimiento en fases caracteriza la obra de la imprenta Weilin&Göös en Tapiola (1964-1966) cuyo rigor modular ordena la estructura reticular isótropa de hormigón armado de la planta baja y el soporte central hueco de 3 m de diámetro de la primera planta que aloja las instalaciones y estructura los ocho tirantes de hormigón con los que se suspende la cubierta. La sistematicidad, el rigor modular y el optimismo tecnológico se extienden en la construcción prefabricada de los prototipos de vivienda experimental que construye para Marimekko (1966), a partir de un sistema de producción de elementos prefabricados de madera y contrachapado formado por la adición de módulos estructurales. La precisión geométrica y el refinamiento constructivo centran la reordenación espacial del Ayuntamiento de Helsinki (1960-1970) que culmina una trayectoria marcada por la fidelidad a los fundamentos tectónicos de la construcción.

Contexto

Aarno Ruusuvuori nace en Kuopio en 1925 y su infancia transcurre en la remota región de Karelia forjando su carácter y sensibilidad. En 1946 ingresa en la Universidad Tecnológica de Helsinki y su formación, con los profesores J. S. Sirén, Olli Pöyry y Otto-Iivari Meurman, pugna entre la aproximación clásica imperante y el incipiente anhelo de modernidad. La irrupción del Estilo Internacional en los años 30 suscitó la renovación formal del denominado funcionalismo nórdico, interrumpido tras el estallido bélico de la Segunda Guerra Mundial y la reconstrucción de la posguerra con el regreso a las formas tradicionales. Aulis Blomstedt, Yrjö Lindegren o Vil-

jo Revell, entre otros, reivindicaron el resurgimiento del lenguaje moderno (Dobbins 1963, 3).

Ruusuvuori trabaja en el curso de sus estudios con Aulis Blomstedt donde encuentra, en el compromiso moderno y el elementarismo geométrico, el modelo que persiguió en sus obras y proyectos mediante una búsqueda obstinada de autenticidad y de coherencia formal (Blomstedt [1952] 1983). Tras su titulación en 1951, Ruusuvuori completa su formación colaborando en el estudio de Kaija y Heikki Siren, ejercitándose en los principios formales de la modernidad. Después de trabajar en la Oficina de Proyectos de las Olimpiadas de Helsinki, funda su propio estudio en Helsinki e inicia su trayectoria profesional participando en numerosos concursos (Norri, 1995).

Ruusuvuori persiguió en sus obras y proyectos una aproximación universal y abstracta de los principios modernos, adoptando la racionalidad y coherencia del denominado constructivismo finlandés, que se produce con el apoyo de la pujante industria tras los Juegos Olímpicos en Helsinki de 1952, en un momento de prosperidad económica y de confianza en el futuro tecnológico.

La década de los años cincuenta está marcada por la encrucijada entre el organicismo de Aalto y la corriente racionalista y teórica liderada por Aulis Blomstedt que desembocó en numerosas disputas en el ámbito profesional, en el seno de la Asociación de Arquitectos Finlandeses (SAFA) y en la revista Arkkitehti (ARK), en el medio educativo de la Universidad Tecnológica de Helsinki (TKK) o en la escena cultural del Museo de Arquitectura Finlandesa (MFA) (Pallasmaa 1992). Esta polarización entre las dos corrientes, la intuitiva y orgánica de Aalto frente a la racional y teórica de Blomstedt y Ruusuvuori que reivindica una modernidad esencial, anteponiendo el rigor de la construcción a la forma, caracterizará este periodo en Finlandia en una pugna que tiene lugar en diversos escenarios.

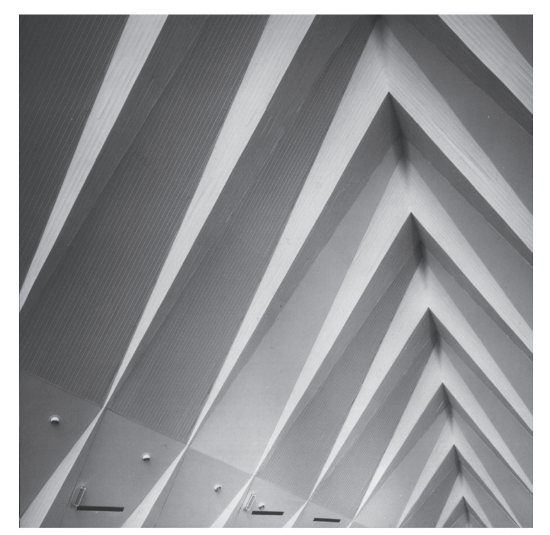
Con el compromiso de dar respuesta a las necesidades del momento y como contrapunto a la aproximación subjetiva y romántica de Alvar Aalto, en 1953, se funda en Aix-en-Provence la sección finlandesa de los CIAM que se denominó PTAH *Progrès, Téchnique, Architecture Helsinki*. Liderada por Aulis Blomstedt, trató de aglutinar la corriente renovadora de la arquitectura finlandesa y reivindicar la teoría, la sistematicidad y la racionalidad, la industrialización y la internacionalización, excluyendo los rasgos individualistas. En su ambición crítica y pedagógica, Ruusuvuori se incorpora en 1952 como profesor en la Universidad Tecnológica de Helsinki (TKK) y reivindica desde la docencia la coherencia racionalista frente al lenguaje romántico y singular de Aalto. Tras la dimisión de Ruusuvuori como editor y director de la revista Arkkitehti (1956-1957) por el control y la censura del SAFA, el denominado grupo del Museo de Arquitectura Finlandesa, aglutinado en torno a la figura de Aulis Blomstedt, funda en 1957 la revista *Le Carré Bleu* para la difusión en la escena internacional de los postulados teóricos y las aspiraciones arquitectónicas.

Hormigón y materialidad

En sus primeras obras, como rupturas alternativas a la aproximación empírica de Alvar Aalto, los proyectos adoptan la pureza y autonomía de las formas, la solidez y gravedad material y la contenida abstracción. Ruusuvuori obtiene el primer premio en el concurso de la iglesia de Hyvinkää (1958-1961) con un singular obra en la que el compromiso con la modernidad se matizó con un lenguaje de raíz primigenia (figura 1). En comunión con la naturaleza del bosque, adopta la forma básica del triángulo para componer un volumen piramidal que evoca el retorno a la casa primordial. Una maqueta de papel plegado señala la orientación espacial del espacio litúrgico como contraposición al paralelepípedo que aloja el programa de las dependencias parroquiales.

La iglesia se construye íntegramente en hormigón y Ruusuvuori explora los avances de la industria y el potencial tecnológico para alcanzar una audaz solución estructural y enfatizar las características plásticas y la textura del material. Para Ruusuvuori la iglesia de Hyvinkää supuso el inicio de una constante exploración tanto en el campo de las estructuras como en la expresión de la materialidad del hormigón.

En contraposición al desarrollo lineal del armazón estructural del cuerpo parroquial, Ruusuvuori lleva al límite la experimentación formal con pliegues del hormigón para resolver la cubierta piramidal. Atendiendo al rigor del funcionamiento estructural, concibe una lámina de 12 cm caracterizada por una serie creciente de pliegues que proporciona la forma rígida y alcanza los 120 cm salvando una luz estructural de



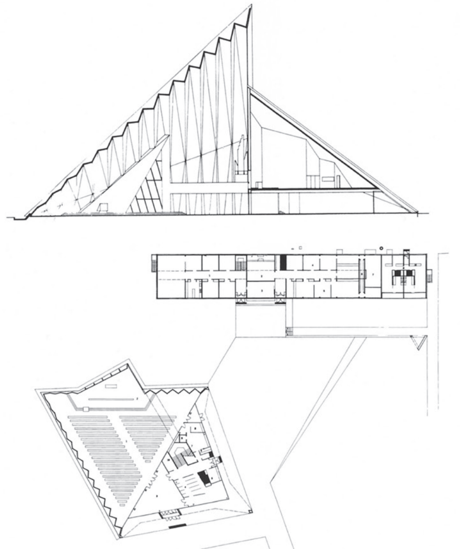


Figura 1
Aarno Ruusuvuori. Iglesia de Hyvinkää, 1958-1961. (Ruusuvuori 2000)

42m. Enfatizando la dialéctica entre el interior y el exterior, el trasdosado del volumen se realiza con paneles prefabricados de hormigón que contrasta con la del intradós plegado del espacio destinado al culto.

La luz se filtra en la intersección de los dos planos triangulares y subraya la fuerza abstracta y rítmica de las superficies plegadas que contrastan con la directriz y el pliegue sesgado de la superficie continua situada detrás del altar que permite concentrar la atención y propiciar la apertura y la iluminación lateral. El altillo que define el vestíbulo y organiza la sala polivalente contribuye a delimitar el espacio litúrgico sin fragmentar el dinamismo de la composición y el continuo espacial interior.

Ruusuvuori continúa esta investigación con el hormigón armado en el bloque de apartamentos en Merimiehenkatu 32 (1962). El edificio de apartamentos en el centro de Helsinki, es una obra silente, abstracta y funcional, más próxima al canon moderno (figura 2). El esencialismo y la rotundidad formal del bloque de apartamentos se integran en el desnivel del entorno mediante un porche de acceso que amplía el espacio urbano y subraya la autonomía del plano de la fachada. El lucernario que introduce en el plano de la cubierta permite dotar a los apartamentos del ático de un notable componente espacial que repercute en



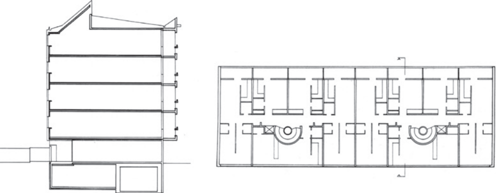


Figura 2
Aarno Ruusuvuori. Bloque de apartamentos en Merimiehenkatu 32, Helsinki, 1962. (Ruusuvuori 2000)

la reducción expresiva de los huecos en la coronación del lienzo de la fachada con el contrapunto de los dos balcones homenaje a Le Corbusier. El carácter abstracto y terso de la fachada urbana se traslada al interior de los dos vestíbulos de acceso donde lleva al límite la desnudez y la crudeza expresiva del hormigón. En la fachada orientada al sur y al patio de la manzana se refleja el orden estructural, que pauta los apartamentos mediante profundas terrazas y prolonga los límites del espacio doméstico, y un enfático peto de coronación con gárgolas.

Ruusuvuori explora su intuición plástica en la depurada belleza de la Iglesia Huutoniemi en Vaasa (1961-1964). Además de un espacio litúrgico, el proyecto, fruto de un primer premio en un concurso, contiene el programa del centro parroquial, espacios multifuncionales y un equipamiento comunitario además de un conjunto de viviendas adyacentes (figura 3). Adaptándose al desnivel del terreno mediante un basamento, Ruusuvuori plantea un recinto que actúa como plaza de acogida y lugar de encuentro donde se orientan las principales funciones comunitarias. La gran escalinata enfatiza el carácter ritual de tránsito y funciona como vestíbulo de encuentro con el espacio de culto. Las dependencias comunes se organizan alrededor de un patio y se abren mediante un paramento acristalado que contrasta con el hermetismo del recinto acotado por un muro de hormigón en el que se dispone el campanario.

La forma sesgada de la nave y las inflexiones del volumen responden a sus distintas orientaciones y modulan su escala, enfatizando la interacción volumétrica, el perfil ascendente y el carácter abstracto de la iglesia en el espacio urbano. Los quiebros dan vigor a las superficies y la rotunda geometría de la nave emerge y culmina en un testero triangular y un ventanal que ilumina el intradós del espacio de culto.

El espacio destinado al culto se organiza bajo un plano inclinado y, despojando la construcción, la contención material subraya la trascendencia del espacio. El hermetismo y la imposibilidad de observar el exterior contribuye a crear un ambiente introvertido y vacío modulado por la luz y las texturas.

La iglesia está construida con muros portantes de hormigón armado, trasdosado en el interior con bloque prefabricado de hormigón. En el paramento exterior se hace visible la modulación del encofrado con los característicos despieces, juntas y berenjenos propios de la puesta en obra del hormigón armado.

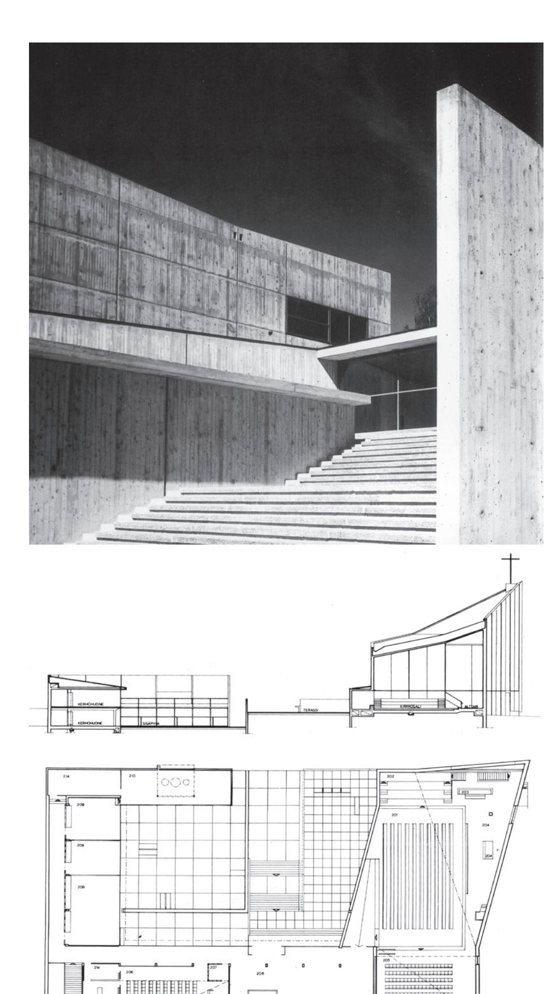


Figura 3
Aarno Ruusuvuori. Iglesia Huutoniemi en Vaasa, 1961-1964. (Ruusuvuori 2000)

La Iglesia Huutoniemi refleja la confianza de Ruusuvuori en el potencial expresivo de los nuevos materiales y en el anhelo de una arquitectura más esencial, despojada de todo elemento superfluo. Ruusuvuori prosigue esta línea de investigación en la depuración expresiva de la Iglesia de Tapiola (1963-1965). El compromiso moderno, la claridad formal y la rítmica volumetría caracterizan la propuesta que obtiene el primer premio en el concurso.

Situada en el centro urbano de la nueva ciudad-jardín de Tapiola, junto al estanque central, Ruusuvuori concibe un hermético y austero recinto caracterizado por la secuencia espacial y rítmica de pabellones y patios. La perspectiva interior del concurso refleja la importancia de la intimidad litúrgica y la maqueta ilustra un conjunto inscrito en un recinto y resuelto por la disposición de tres cuerpos articulados por un corredor longitudinal paralelo a la senda peatonal arbolada Tapionraitti que vertebra de este a oeste la ciudad.

Con el lema "Pyhät puut" (árboles sagrados), la cancela de hormigón señala el acceso y constituye el umbral que recrea la ceremonia procesional de tránsito al recinto religioso. El vestíbulo da acceso a la intimidad litúrgica de la iglesia o a la galería acristalada que vertebra el conjunto de las dependencias parroquiales abiertas a patios.

El corredor longitudinal propicia la continuidad espacial y se extiende en el interior de la sala de los oficios religiosos hasta la pila bautismal, iluminada cenitalmente. Presidida por el altar iluminado y flanqueada por las gradas laterales para el coro, la gran aula interior se ilumina mediante un amplio ventanal abierto en la orientación oeste y completado por una monumental celosía de hormigón que pauta la iluminación que se filtra en el interior.

Los materiales y su disposición se ven sometidos a un intenso proceso de abstracción. La simplicidad material subraya el despojamiento del ritual y la aridez de la textura rugosa del trasdosado interior de bloques de hormigón de los paramentos contrasta con el hormigón que muestra las marcas del encofrado. En el exterior, la estricta geometría de volúmenes ortogonales es atemperada por las sutiles inflexiones del terso panel prefabricado que modula la escala del edificio (figura 4).

La sensibilidad en la articulación material de los paramentos y texturas y el refinamiento constructivo de los paneles prefabricados tratan de subrayar las cualidades táctiles y sensitivas. Los paramentos materiales se convierten en planos dinámicos o en pautadas y rugosas superficies abstractas que tratan de enriquecer la desornamentada ortodoxia moderna.

Explorando la componente corpórea del material y recurriendo al hormigón como sistema estructural, la Escuela Roihuvuori en Helsinki (1964-1967) ordena el conjunto de dependencias educativas en torno a una franja central iluminada cenitalmente, que aloja a modo de atrio a doble altura, las dependencias comunitarias del gimnasio y la sala polivalente, separadas por un espacio de reunión y encuentro (figura 5). La riqueza espacial de atrio interior enfatiza la solución estructural formada por pórticos de hormigón armado de grandes luces, apoyados en una trama de pilares que señala su autonomía en relación a la compartimentación y el cerramiento. El programa educativo de las aulas, que alternan los frentes acristalados y los antepechos traslúcidos, se inscribe en un modulo de 1,45 m y la transparencia de las particiones interiores en la franja superior propicia la continuidad espacial. El movimiento se inicia en el gran umbral de ingreso a la escuela. Un gran porche comunitario recorrido por la monumental rampa da acceso a las dos galerías perimetrales que vertebran el espacio docente de las aulas.



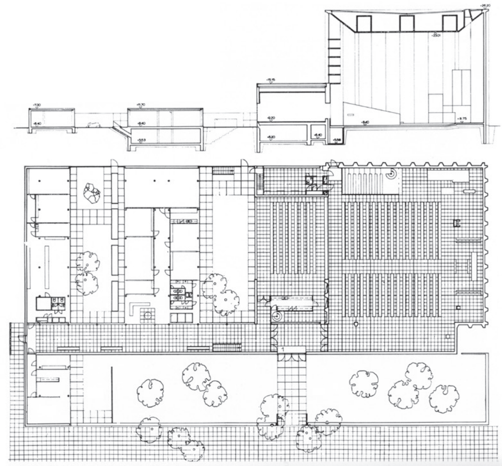
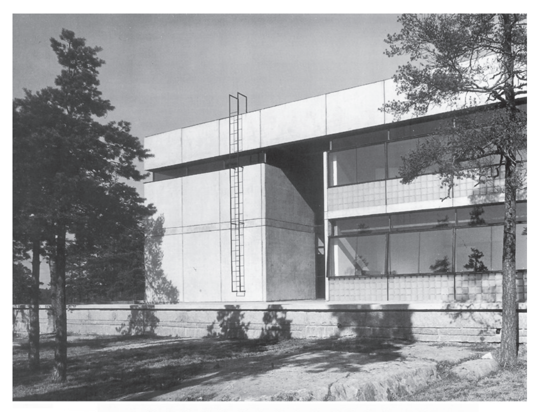


Figura 4
Aarno Ruusuvuori. Iglesia de Tapiola, 1963-1965. (Norri, Kärkkäinen 1992)



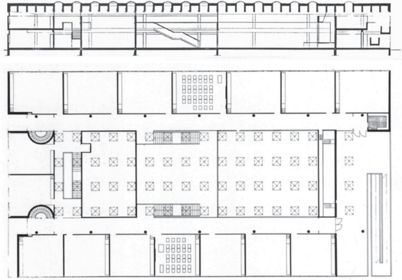


Figura 5
Aarno Ruusuvuori. Escuela Roihuvuori en Helsinki, 1964-1967. (Norri, Kärkkäinen 1992)



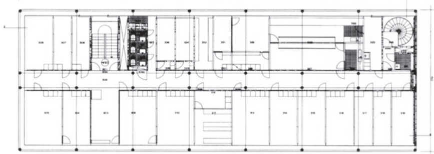


Figura 6
Aarno Ruusuvuori. Comisaría de Policía de Mikkeli, 1968. (Ruusuvuori 2000)

Favoreciendo la continuidad espacial del programa, Ruusuvuori desarrollará la expansión visual interior en el compartimentado programa de la Comisaría de Policía de Mikkeli (1968). La retícula pilares se independiza de la compartimentación y el cerramiento, y se amplía visualmente mediante la transparencia de la franja superior de las particiones interiores (figura 6). Las desnudas losas y pilares del armazón estructural definen la forma y la textura del hormigón dota de unidad al edificio.

Su apreciación por el detalle, los materiales y las cualidades táctiles y sensitivas caracteriza este período de abstracción y contundencia formal con el hormigón armado como material protagonista.

Construcción modular

La corriente renovadora de la arquitectura finlandesa se aglutina en torno a la figura de Aulis Blomstedt y su constante búsqueda de los principios esenciales y fundamentales de la arquitectura, los estudios sobre la proporción y la evolución del sistema modular se expresan en sus proyectos mediante una secuencia de repeticiones y series del orden tectónico y la organización espacial. La modernidad esencial de Ruusuvuori se condensa en términos constructivos, formales y espaciales en la imprenta Weilin&Göös en Tapiola (1964-1966) que refleja la confianza en la tecnología constructiva (figura 7).

Situado al oeste de la ciudad jardín de Tapiola y enclavado en el límite de una área residencial junto a un frondoso bosque, Ruusuvuori plantea en el proyecto de la imprenta Weilin&Göös un audaz tipo estructural basado en un sistema modular aditivo. La exigencia de construir el edificio en fases y de liberar grandes superficies para la producción industrial suscita la búsqueda de una estructura resistente coherente con la lógica de los esfuerzos y la requerida flexibilidad funcional en el uso de la planta. Tras ensayar

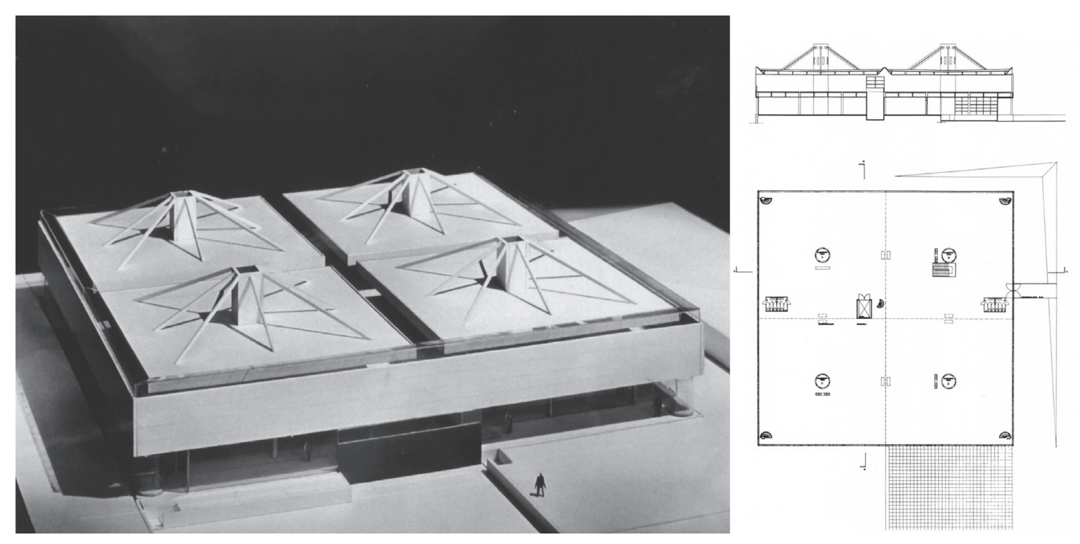


Figura 7
Aarno Ruusuvuori. Imprenta Weilin&Göös en Tapiola, 1964-1966. (Ruusuvuori 1964)

diversas soluciones estructurales, para liberar las plantas de elementos resistentes, Ruusuvuori con el ingeniero Bertel Ekengren parten de un módulo cuadrado de dos plantas de 27x27 m y agrupan todos los servicios en el interior de un fuste hueco hormigonado in situ de 3 m de diámetro. La planta baja está formada por una trama estructural isótropa de pórticos de hormigón armado de 9x9m de vano estructural y en la planta superior, los núcleos estructurales definen el carácter flexible de los espacios interiores. Los fustes de hormigón registrables están ahuecados y se convierten en espacios de servicio para el control y



Figura 8
Aarno Ruusuvuori. Estructura de la imprenta Weilin&Göös en Tapiola, 1964-1966. (Ruusuvuori 1964)

paso de las instalaciones. El núcleo central se prolonga en cubierta como soporte de los ocho tirantes de hormigón con los que se suspende la cubierta nervada. Así, Ruusuvuori construye de arriba abajo, colgando la cubierta mediante los tirantes del núcleo central de cada módulo (figura 8).

La envolvente alterna el cerramiento de vidrio con los paneles prefabricados de hormigón que proporcionan la necesaria protección solar para la actividad productiva de la imprenta. La continuidad de la franja superior acristalada subraya la levedad de la estructura y la transparencia del edificio. En la planta baja el cerramiento de vidrio queda retranqueado de la línea de soportes y contraponiéndose a la horizontalidad del conjunto, las escaleras de hormigón inscritas en unos núcleos transparentes y situadas en las esquinas complementan la circulación vertical.

Reconvertido en la actualidad como centro cultural y denominado Wee Gee, el proyecto, como expresión formal de la tecnología de hormigón armado, ilustra la confianza en las posibilidades de los nuevos materiales que tratan de obtener la máxima eficacia mecánica y las máximas prestaciones estructurales al servicio de una organización espacial flexible (Helander 2006).

Del primitivismo al constructivismo

Arraigado en la identidad local y en la tradición vernácula, Ruusuvuori levanta con materiales y técnicas tradicionales la Sauna Aho en Piikkiö (1962) que compendia en un lirismo primigenio y abstracto, las condiciones ambientales y del contexto. El uso rústico de los materiales naturales y los rítmicos efectos de claroscuros, subrayan en este proyecto la fuerza abstracta de lo arcaico, aproximándose al primitivismo de Reima Pietilä que ahondará en una nueva corriente fenomenológica que parte del reconocimiento de nuevos estímulos y la continua búsqueda identitaria. La actitud empírica de la Sauna Aho, que explora la fuerza abstracta de lo arcaico, evoluciona hacia una búsqueda de lo esencial y se materializa en obras como la casa familiar que construye en la isla de Hälvä, Kerimäki (1960-1962).

En un entorno social y económico propicio, la tecnología constructiva, los sistemas ligeros y abiertos y las estructuras tridimensionales de entramados que evocan la voluntad aperturista y la lógica constructiva de las Case Study House norteamericanas se materializaron con el apoyo de la pujante industria forjando la arquitectura constructivista finlandesa de la década de los sesenta. La racionalidad y coherencia del denominado constructivismo finlandés ilustra el creciente papel de la técnica en el proceso de formalización del proyecto.

Con el propósito de obtener el máximo rendimiento tecnológico, el rigor modular y la composición aditiva de la imprenta Weilin&Göös en Tapiola (1964-1966) orienta su trayectoria profesional hacia la normalización y la producción seriada, explorando nuevos sistemas constructivos que darán paso a una innovación creciente.

Durante la construcción de la fábrica de Marimekko en Vanha Talvitie (1967), a partir de un entramado de pilares y vigas de madera laminada, Ruusuvuori inicia la exploración en la arquitectura industrializada. Concebida como una vivienda mínima, la casa experimental construida en Bökars, Porvoo (1966), es el prototipo arquitectónico de un sistema de producción de elementos prefabricados de madera y contrachapado formado a partir de la adición de módulos estructurales de 3x4x2,4 m con el interiorismo y los tejidos de Marimekko (Pallasmaa 2005). Con una superficie de 48 m2, el denominado 'submarino azul' se construye en los terrenos de la casa de campo de Armi Ratia, la fundadora de la empresa Marimekko. La planta está sometida a una estricta modulación instrumental de 60 cm y el módulo que aloja el bloque de la cocina y el baño se sitúa entre la unidad de la habitación y los dos módulos destinados a la sala de estar. Además, un módulo actúa como porche y umbral de acceso a la casa y al cuerpo del almacén. La exigua dimensión de las unidades define el modelo de casa alargada que responde a la máxima dimensión que puede ser transportada (figura 9).

Esta casa experimental, con la integración del universo creativo y de la estética colorista de los tejidos y motivos gráficos de Marimekko, se planteaba como el ambicioso prototipo de la comunidad Marikylä de casas destinadas a los trabajadores de la empresa Marimekko y planteadas con paneles de contrachapado prefabricados a partir de variaciones del modelo de casa patio. Esta utopía para 3.500 habitantes se plantea inicialmente en un conjunto fundamentalmente residencial en Bemböle, Espoo, descartado tras la oposición municipal y posteriormente como distrito industrial en Porvoo, hasta que en 1967

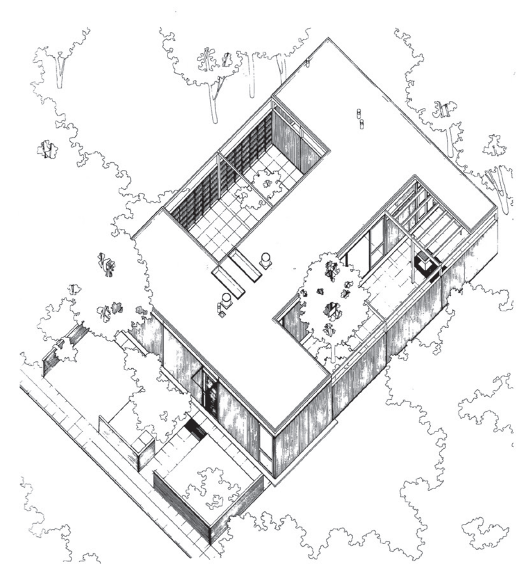



Figura 9
Aarno Ruusuvuori. Prototipo del sistema Marikylä, Bökars, Porvoo, 1966. (Ruusuvuori 2005)

se abandona el proyecto debido a la crisis económica de la compañía.

Ruusuvuori realizó un último proyecto para Marimekko. El prototipo prefabricado de la Mari Sauna (1968) se concibe como un kit de componentes que se pretendía comercializar en las tiendas Marimekko (figura 10). Ruusuvuori explica gráficamente la secuencia constructiva con las 15 fases del montaje de los 13 paneles de madera de la sauna mediante la industrialización de los componentes de la producción en serie. El prototipo se caracteriza por la continuidad espacial de los tres ámbitos de la sauna, porche, vestidor y sauna. Las imágenes del modelo construido del fotógrafo Simo Rista ilustran el refinamiento técnico y estético de Ruusuvuori y condensan el ideal de la arquitectura constructivista finlandesa de la década de los sesenta.

El entramado estructural de la Casa Halonen en Pohja, Degerby (1969) refleja la voluntad de reducción a lo esencial del constructivismo finlandés (figura 11). La reducción expresiva y el despojamiento de todo lo superfluo se inscriben en esta trama modular de 75 cm en el que se levanta un entramado de vigas y postes de madera. El entramado de 3x3 m articula la gramática básica de la construcción en madera y determina el orden tectónico y la isotropía espacial. La estructura cualifica el espacio y lo caracteriza.

El orden de la estructura resistente rige la composición del proyecto y determina la construcción de la arquitectura constructivista en madera. El programa doméstico no interfiere en la retícula tridimensional que refleja la realidad constructiva del entramado de madera mediante la autonomía de la estructura en relación al cerramiento y la compartimentación.

El programa doméstico se organiza en torno a un patio central y terrazas laterales. Ligeramente levantada sobre el terreno, permitiendo que la naturaleza se extienda por debajo de la casa, la apertura, la transparencia y la interrelación con la naturaleza circundante caracterizan el proyecto doméstico de Ruusuvuori conciliando la universalidad del entramado con la materia prima de la industria finlandesa.

Intervención patrimonial

El diálogo con las preexistencias ambientales centrará la etapa de madurez profesional de Ruusuvuori. La intervención en un edificio de Pehr Granstedt de



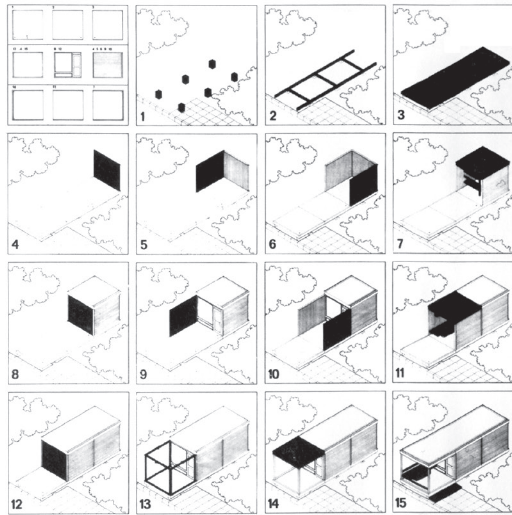


Figura 11
Aarno Ruusuvuori. Casa Halonen, Pohja, Degerby, 1969.

1815, con un ceremonial vestíbulo bancario de Lars Sonck de 1904, para alojar un programa de oficinas y una galería expositiva Kluuvi (1968) se desarrolla con gran sensibilidad a las preexistencias ambientales del contexto neoclásico del centro de Helsinki (Malmberg 2013). En una céntrica esquina urbana, la intervención contempla la rehabilitación de las fachadas y el vestíbulo central de Lars Sonck y la transformación de las crujías para incluir una planta diáfana y flexible de oficinas. La planta basamental incluye el programa comercial requerido complementado con un nuevo pasaje que refuerza la condición pública y propicia una intensa conexión con el patio. La intervención de Ruusuvuori no se percibe desde el exterior y se centra en la transformación de la fachada orientada al patio. La ligereza y abstracción del muro cortina contrasta con el monolitismo de la construcción muraria de Lars Sonck.

Este diálogo con las preexistencias se prolonga en la reordenación espacial del Ayuntamiento de Helsinki (1960-1970). Fruto de un primer premio en un concurso, su rotunda y discreta propuesta se inserta en el contexto neoclásico del centro de Helsinki con



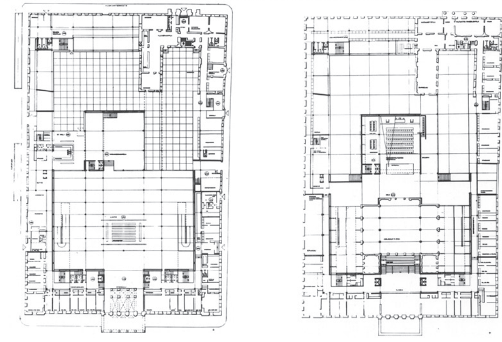


Figura 12
Aarno Ruusuvuori. Intervención en el Ayuntamiento de Helsinki, 1960-1970. (Ruusuvuori 1971)

una remodelación del Ayuntamiento que no se percibe desde el exterior.

El arquitecto Carl Ludvig Engel construye en 1833 el edificio neoclásico del Hotel Seurahuone que estará en servicio hasta 1913 y tras ser adquirido por el municipio, se transforma en 1932 en la sede del Ayuntamiento. Tras llevar a cabo reformas menores, en 1960, la corporación municipal convoca un concurso para la remodelación de las instalaciones. Con el lema "Stone Menagerie" el proyecto de Ruusuvuori mantiene las fachadas, el vestíbulo central de acceso y el relevante salón de banquetes convertido en la sala de reuniones de la corporación municipal. Ruusuvuori introduce en un complejo proceso de obra, una retícula rigurosa que pauta la estructura del amplio vestíbulo y sostiene el volumen preexistente del salón de banquetes.

La flexibilidad del amplio vestíbulo define un espacio interior comunitario que se convierte en un lugar de encuentro cívico. El vestíbulo se expande lateralmente mediante dos amplias y monumentales escaleras iluminadas cenitalmente que interrelacionan dinámicamente los espacios interiores (figura 12).

En una segunda fase en 1988, Ruusuvuori trata de salvaguardar el carácter y la escala de las construcciones del céntrico bloque edificado, reordenando espacialmente las tres propiedades contiguas de los edificios Bock, Burtz y Hellenius con la oportuna adecuación funcional de los espacios. Adosado al vestíbulo de la primera ampliación, construye un nuevo bloque que, coronado por un lucernario, alberga la nueva sala del consejo y dependencias auxiliares.

Su rigor proyectual, su enfoque disciplinar y su aproximación al proyecto pragmática, abstracta y universal concilia la autenticidad de la estructura preexistente con la reordenación espacial atendiendo simultáneamente a la funcionalidad, la racionalidad constructiva y la coherencia formal.

Conciencia constructiva

Aarno Ruusuvuori construye una obra rigurosa y abstracta que fluye desde la imagen brutalista del hormigón con sus audaces soluciones constructivas y su exploración expresiva de la fisicidad de los materiales, a la ligereza de los entramados estructurales de madera con su sistemático planteamiento modular. Para Ruusuvuori, los paramentos y las superficies se convierten en un campo de exploración expresiva de las cualidades de los materiales. Su sensibilidad material y apreciación por el detalle se ilustra en un ensamblaje preciso de materiales y texturas en el que cada material mantiene su carácter. Frente al organicismo de Aalto, el lirismo de formas abstractas y expresivos espacios componen una trayectoria fiel al progreso tecnológico y a la modernidad esencial.

En 1966 abandona la docencia como profesor en la Escuela Politécnica de Helsinki y su obra fue criticada por su rotunda modernidad. En la madurez de su trayectoria profesional y ante la falta de encargos,

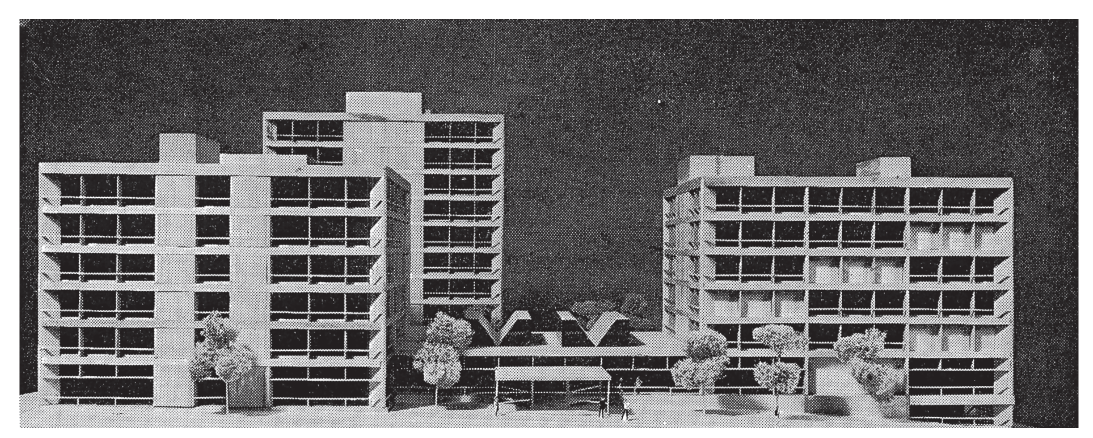


Figura 13
Aarno Ruusuvuori. Centro para el Desarrollo Inmobiliario, Adís Abeba, Etiopía, 1971-1976. (Ruusuvuori 1972)



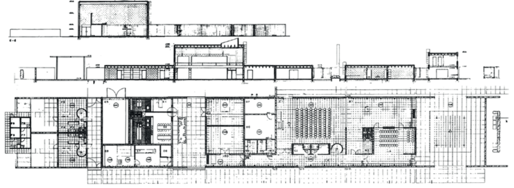


Figura 14
Aarno Ruusuvuori. Capilla Rauhannummi, Hyvinkää, 1972. (Ruusuvuori 1973)

inicia una estancia en Etiopía (1971-1974) donde construye, con lógica formal, precisión funcional y rigor constructivo, el Centro para el Desarrollo Inmobiliario (1971-1976) caracterizado por la severidad de las desnudas losas y pilares apantallados del armazón estructural (Kummala 2015) (figura 13). Tras su regreso es nombrado director del Museo Finlandés de Arquitectura (1975-1978) y posteriormente director de SAFA (1982).

Entre sus últimas obras destaca la capilla del cementerio de Rauhannummi en Hyvinkää (1972) donde conjuga la precisión geométrica con el sentimiento constructivo de la estructura (figura 14). El esquema aditivo y modular se extiende en una configuración lineal mediante la adición de cinco módulos cuadrados, con los patios como filtros visuales entre las partes del programa. En el primer módulo se establece un porche de acceso que identifica el lugar de acogida. El orden tectónico del módulo, con cinco pórticos metálicos determina la construcción arquitectónica del espacio de la capilla y el crematorio caracterizada por la ascética materialidad.

El edificio de oficinas Paragon en Helsinki (1973) compendia la voluntad de obtener mediante una retí-

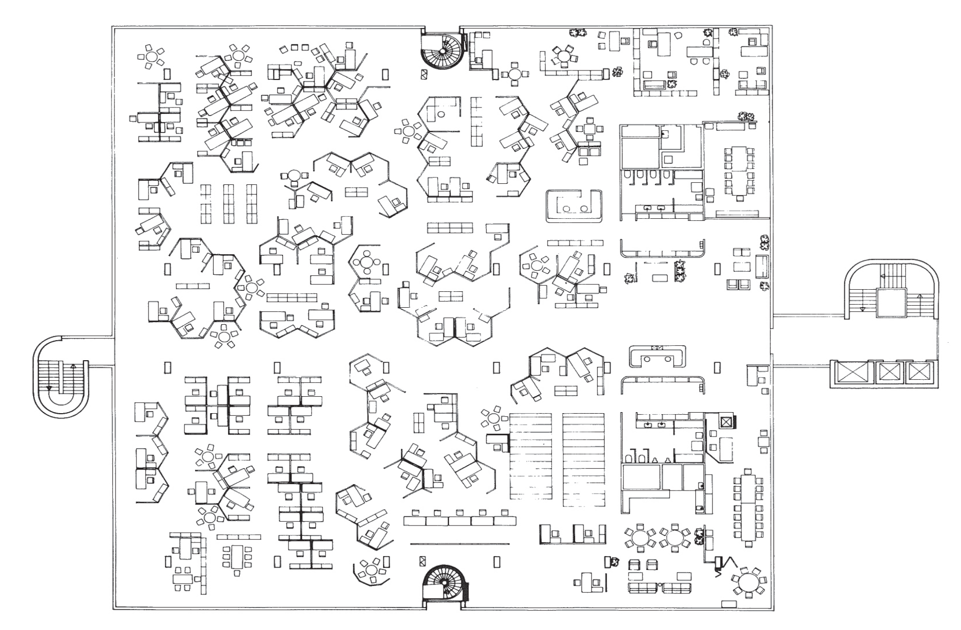


Figura 15
Aarno Ruusuvuori. Edificio de oficinas Paragon, Helsinki, 1973. (Ruusuvuori 1974)

cula de 8x16 m las máximas prestaciones estructurales e implantar la organización espacial de la oficina paisaje (figura 15). La estructura de pórticos de hormigón armado define el compacto bloque corporativo de cuatro plantas con dos sobresalientes núcleos verticales de comunicaciones.

La compacidad y la lógica estructural de un sistema de crujías de muros de carga caracterizan la casa Halonen en Kuusisaari (1973-1977) (Hautajarvi 2014) que condensa la conciencia constructiva y los fundamentos tectónicos de Ruusuvuori. Para el maestro finlandés, la arquitectura debe adaptarse al proceso tecnológico y la atracción por la seriación y la industrialización de la construcción se ilustra en la imprenta Parate en Myllypuro, Helsinki (1978-1979) donde un entramado estructural de hormigón armado de 24x24 m y un cerramiento de paneles de aluminio anodizado materializa la imagen industrial y lírica del constructivismo finlandés.

Lista de referencias

Blomstedt, Aulis. 1983. Rakennustaiteen näköaloja: Prospects in Architecture (1952). En *Abacus. Writings on architecture 1816-1960. Yearbook 3*. Helsinki: *Museum of Finnish Architecture*:189-199.

Dobbins, Michael. 1963. «The Achievement of Finnish Architecture: Social Responsability and Architectural Integrity». *Perspecta* (8): 3-4.

Hautajarvi, Harri. 2014. «Eras unohtunut talo». *Arkkitehti* (4): 84-86.

Helander, Henna. 2006. «Conversion of the WeeGee House, Ahertajantie 5, Tapiola, Espoo». *Arkkitehti* (6): 13-49.

Kummala, Petteri. 2015. «Déjà-vu. Aarno Ruusuvuori - toimistokortteli, Addis Abeba, Etiopia 1976». *Arkkitehti* (6): 68-69.

Malmberg, Jonas. 2013. «Deja-vu. Aarno Ruusuvuori - Kluuvin virastotalo, Helsinki 1968». *Arkkitehti* (3): 82-83.

Norri, Marja-Riitta. 1995. «Aarno Ruusuvuori (1925-1992). La luz y el bosque». *AV* (55): 78-80.

Norri, Marja-Riitta; Kärkkäinen, Maija. 1992. *Aarno Ruusuvuori. Structure is the key to beauty*. Helsinki: Museum of Finnish Architecture.

Pallasmaa, Juhani. 1992. «Aarno Ruusuvuori 14.1.1925 - 22.2.1992». *Arkkitehti* (2): 20-23.

Pallasmaa, Juhani. 2005. «La última utopía». *Arquitectura* (341): 67-71.

Ruusuvuori, Aarno. 1958. «Project for church for Hyvinkaa». *Arkkitehti* (6/7): 108-110.

Ruusuvuori, Aarno. 1961. «Pietinen Photographic Studio, Helsinki ». *Arkkitehti* (10/11): 184-190.

Ruusuvuori, Aarno. 1961. «Church at Hyvnkaa ». *Arkkitehti* (9): 143-155.

Ruusuvuori, Aarno. 1964. «Printing works, Tapiola». *Arkkitehti* (7/8): 126-135.

Ruusuvuori, Aarno. 1964. «Church in Vasa». *Arkkitehti* (9): 180-192.

Ruusuvuori, Aarno. 1966. «Tapiola Church». *Arkkitehti* (9/10): 128-132.

Ruusuvuori, Aarno. 1967. «Roihuvuori primary school, Helsinki». *Arkkitehti* (12): 16-19.

Ruusuvuori, Aarno. 1969. «Police headquarters, Mikkeli». *Arkkitehti* (1): 30-35.

Ruusuvuori, Aarno. 1971. «Renovation of Helsinki city hall». *Arkkitehti* (3): 28-35.

Ruusuvuori, Aarno. 1972. «Development Centre building, Addis Ababa». *Arkkitehti* (7/8): 22-23.

Ruusuvuori, Aarno. 1973. «Rauhannummi funeral chapel and cemetery». *Arkkitehti* (7): 14-17.

Ruusuvuori, Aarno. 1974. «Paragon office buildings, Makelankatu 84, Helsinki». *Arkkitehti* (1): 61-65.

Ruusuvuori, Aarno. 1980. «Parate printing works at Myllypuro, Helsinki». *Arkkitehti* (3): 30-33.

Ruusuvuori, Aarno. 2000. *Concrete spaces. Architect Aarno Ruusuvuori's works from the 1960s*. Helsinki: Museum of Finnish Architecture.

Ruusuvuori, Aarno. 2005. *Aarno Ruusuvuori. Sauna y casa experimental*. Madrid: Ministerio de Vivienda.

La escalera de caracol con ojo abierto helicoidal de la Catedral de Santo Domingo Primada de América. Una pieza singular de cantería y destreza del tardogótico español en América

Virginia Flores Sasso
Esteban Prieto Vicioso

La escalera es una estructura que tiene como función comunicar espacios que están a diferentes alturas. Es un elemento arquitectónico conformado por escalones que sirven para subir y bajar hacia los distintos niveles de una edificación o espacio. Hay muchos tipos y diseños de escaleras, uno de ellos es la escalera de caracol, la cual se desarrolla en forma de espiral con o sin eje central o alma.

Desde la Antigüedad hay registros del uso de las escaleras de caracol. En la Edad Media, la escalera de caracol fue muy utilizada en fortificaciones, castillos, lonjas, torres e iglesias, entre otras. Estaban hechas en madera, ladrillo o piedra, y luego a partir del siglo XIX se popularizan las metálicas. Las más comunes son de eje central o eje cerrado, también llamadas de husillo, caracol de nabo redondo, caracol macho; siendo las más raras las de eje abierto u ojo abierto, llamado también caracol de Mallorca. También existen los caracoles abovedados, los caracoles exentos y los caracoles dobles.

Para muchos la escalera de caracol es uno de los elementos que mejor define la evolución de la construcción pétrea a lo largo de la historia moderna. Además, representa la destreza de los maestros y canteros. Al respecto, el doctor Alberto Sanjurjo Álvarez, dice que el movimiento helicoidal de las piezas de la escalera muestra, con frecuencia, la capacidad que alcanzaron los maestros canteros y la plasticidad, expresividad y ligereza de sus obras (Sanjurjo 2016). Asimismo, señala que a pesar de su origen exclusivamente utilitario y de su ubicación secundaria, se convierten en signo de maestría y en elementos protagonistas del espacio que recorren y de la composición de los edificios (Sanjurjo 2009a).

El arquitecto francés Eugène Viollet le Duc, afirma que: «…cuando no había más que un pequeño espacio para desarrollar la escalera de caracol interior, se suprimía enteramente el machón central con el fin de dejar paso para aquellos que subían o descendían. Los peldaños estaban entonces simplemente superpuestos en espiral, y portaban cada uno una moldura en su extremidad, cerca del centro, para ofrecer un pasamanos; en el lugar del machón aparecía un vacío» (Viollet 1854: 313).

La Escalera de Caracol en los tratados y manuscritos

A pesar de la similitud de las escaleras, en los manuscritos españoles de cantería siempre se distinguió entre escaleras y caracoles, tal como señala el doctor José Calvo López de la Universidad Politécnica de Cartagena (Calvo López 2003,131). Las escaleras comienzan a aparecer en manuscritos y tratados de cantería y construcción elaborados en Europa a partir del siglo XVI, que recogen las variantes de escaleras de caracol a lo largo del tiempo.

En 1525, el alemán Albrecht Dürer (Alberto Durero), publicó un tratado de medición titulado *Underweysung der messung mit dem zirckel un richtscheyt*, donde aclara que también sería útil «no solo

para pintores, sino también para orfebres, escultores, canteros, carpinteros y todos aquellos para quienes se utiliza la medición» (Dürer 1525). En el tratado, que toca temas sobre arquitectura y urbanismo militar, sintetizó una serie de textos matemáticos con el conocimiento de la geometría que había acumulado como artista. En la parte donde describe la fortaleza circular de bloqueo, dice que «también deben levantarse cuatro amplias escaleras de caracol situadas en forma de cruz que lleven a la plataforma del edificio y permitan el acceso a todas partes» (González García 2004 48).

Aunque Durero no incluyó descripción de la escalera, si comentó sobre ella en la *Instrucción para la medida* (1527 y en 1538). En 1532 se tradujo el texto en latín y se publicó en Nuremberg con el título *Alberti Dureri clarissimi pictoris et Geometrae de Symmetria partium in rectis formis humanorum corporum libri in latinum coversi*. Es muy probable que a partir de esta traducción llegara a España.

En el tratado de Simón García, *Compendio de Architectura y simetría de los templos conforme a la medida del cuerpo humano* (1681), están plasmado los conocimientos de Rodrigo Gil de Hontañón, que desarrollo durante el siglo XVI. Establece las proporciones para las escaleras de caracoles de husillo y con ojo abierto conforme a la razón del cuerpo humano. La cabeza le sirve de unidad de medida. El brazo se divide en tres partes. Cada una de estas partes corresponde al ancho de la cabeza. Así presentará el ancho de la cabeza como el diámetro del hueco. Una tercera parte del diámetro del hueco lo ocupara la moldura.

De acuerdo a Sanjurjo, los dibujos que hace Gil de Hontañón están hechos pensando en justificar sus razonamientos antropomórficos que para explicar el trazado del caracol de husillo (Sanjurjo 2016, 67). Aunque el tratado se publicó en el siglo XVII, los conocimientos de Gil de Hontañón eran conocidos desde el siglo XVI. Entre las características de sus escaleras se encuentra: potentes molduras, pieza de transición en el arranque de la moldura, remate en vertical del pasamano, foseado en el encuentro entre peldaño y moldura, entre otros (Sanjurjo 2016,103).

En los folios en blanco del libro de Alonso de Guardia (1566), realizó anotaciones donde denomina la escalera de caracol con ojo abierto como Caracol de Mallorca (BNE ER 4196). Este tipo de escalera que más se extiende por todo el territorio peninsular de la mano de los principales maestros de la cantería (Sanjurjo 2007).

Hacia 1600, Ginés Martínez de Aranda en *Cerramientos y Trazas de Montea*, menciona las escaleras de caracol, llamándola «Caracol de oxo que dicen de Mallorca». Además, denomina «caracol de dos subidas» a aquellas parejas de escaleras de traza circular que, inscritas en una misma caja, ascienden entrelazadas desde un arranque a la misma cota. O sea, dos caracoles iguales, girados 180 grados, con circulaciones, entradas y salidas diferentes y que comparten el mismo cilindro contenedor» (Sanjurjo 2009b).

A pesar de no haber escrito un tratado, Juan de Aguirre presenta trazas del caracol de Mallorca sin descripción alguna, en el folio 2r. Aun así el dibujo define perfectamente el modelo, en dimensiones generales, número de peldaños, geometría de la moldura, altura de tabicas, etc. (BNE 12744).

En el *Tratado de Arquitectura* de Alonso de Vandelvira y Luna, hijo del arquitecto Andrés de Vandelvira, publicado en 1600, en el tomo uno, menciona siete tipos de escaleras de caracol: en el Titulo LXV: Declaración del caracol de husillo (Fol.49v.), Título LXVI: Declaración del Caracol de Mallorca (Fol.51 r.), Titulo LXVII: Declaración del Caracol Exento (Fol.51 v.), Titulo LXVIII: Vía de San Gil (Fol.52 v. y Fol.53 r.), Titulo LXIX: Caracol de Mallorca Oval (Fol.53 v.), Titulo LXX: Caracol de Emperadores (Fol.54 r.v. y 55 r.v.) y Titulo LXXI: Caracol de emperadores cuadrado (Fol.55 v.) (Barbé-Coquelin 1977: 90-98).

Por otro lado, en casi todos los tratados de cantería y estereotomía franceses, la escalera de caracol predominante es «vis de Saint-Gilles» (Vía de San Gil). Se trata de una escalera de caracol de planta circular o poligonal, cubierta por bóveda de cañón, generada por desplazamiento del arco de medio punto por una hélice, que le sirve de sostén, realizada con piedra cortada donde cada dovela es una fracción de helicoide cuidadosamente aparejado (Zaragozá 2007). El nombre le proviene de la escalera de la iglesia del monasterio de Saint Gilles du Gard en Languedoc.

En Francia, Philibert de L'Orme, en 1576, publicó *L'architecture*, donde presentó la traza de la escalera de vis de Saint Gilles con 24 rellanos. Señala que «quien sabía la forma de trazar dicha *vis de Saint-Gilles* y la comprendía bien era muy estimado entre los obreros» (De L'Orme, 1576:123). Cabe destacar, que la traza de la bóveda del caracol de *vis de Saint-Gi-*

lles, es una de las más difíciles del corte de piedras, porque todas las superficies de las dovelas son alabeadas y las aristas tienen doble curvatura. De hecho la definición geométrica del tipo no se realizó hasta 1799 por Gaspar Monge, en su curso de Geometría Descriptiva (Zaragozá 2007).

Josep Lluis i Ginovart, de la Universitat Rovira i Virgili Reus, agrupó las escaleras de caracol en función del número de peldaños (no), ya sea en las trazas de la época gótica, o en los tratados tardogóticos. Algunas escaleras de caracol están inscritas mediante polígonos regulares de 10, 12, 15, 16, 18, 24, 28 lados y tienen como base de su construcción geométrica, las figuras del cuadrado, pentágono, hexágono y octógono. Aunque también aparecen algunas que se dividen en 11, 13, 14, 17 o 19 lados, pero no son las más comunes y no se tiene referencia directa en los textos medievales. Además, señala que «son casi 200 los ejemplos de trazas de escaleras de caracol», registradas a finales del medioevo, aunque en este caso se refiere a las escaleras con eje central semejantes a la catedral de Tortosa.

En la Europa gótica se pueden encontrar ejemplos de escaleras de caracol de este tipo, entre ellas: la Catedral de Estrasburgo (c.1400) con 332 peldaños y 16 descansos o rellanos; Catedral de San Esteban en Viena (c.1500) sube a la torre de 137 metros de altura en forma de aguja, divida en 15 partes; Catedral de Frankfurt, tiene una divida en 14 partes (Lluis i Ginovart 2016); Catedral de Notre-Dame de Paris y Catedral de Notre-Dame de Amiens (1366-1401) ambas con escaleras de caracol para subir a la torre, entre otras.

Al parecer, la escalera de caracol con ojo abierto se desarrolló en el siglo XV, popularizándose en el siglo XVI. Muchos atribuyen este tipo de escalera al arquitecto mallorquín Guillem Sagrera, quien realizó un caracol con ojo e intradós acanalado en el Castelnuovo de Nápoles (1454) y otra en la Lonja de Palma (1446).

En España se destacan: el caracol de dos subidas rematado por caracol de ojo en la Capilla Real del Convento de Santo Domingo en Valencia (1460-1514) obra del maestro valenciano Francesc Baldomar, junto al catalán Pere Compte; el caracol en las Torres de Quart, (Cuart o Cuarte) de 1441 por Francesc Baldomar, sustituido en 1460 por Jaime Pérez, luego por Pere Compte hasta finales de 1468 y en 1474 por Pere Bonfill quien las termina en 1493; el caracol de intradós acanalado de la Lonja de Mercaderes de Valencia (1483-1548) obra de Pere Compte y Juan Ivarra (Perouse de Montclos 1985:83-91) y el caracol de la Torre del Homenaje del Castillo de Almansa en Albacete construida entre 1449 y 1454, entre otras.

Es el siglo XVI, con el tardogótico, cuando se construye el mayor número de escaleras de caracol de ojo abierto. A pesar de lo complejo de su traza, este tipo de escaleras se popularizan en los territorios que ocupaba la Monarquía Hispania, incluyendo los de Ultramar (Indias Occidentales y Orientales), además del reino de Portugal por las influencias familiares.

Ejemplos de escalera de caracol de ojo abierto se pueden encontrar en: la torre de campanario de la Catedral de la Natividad de Nuestra Señora de Baeza en Jaén (1545); torre de la Catedral de los Santos Niños Justo y Pastor de Alcalá de Henares (1528-1582) obra de Rodrigo Gil de Hontañón y Rodrigo Argüello; escalera que sube a la cubierta de la iglesia del monasterio jerónimo de Santa Catalina en Talavera de la Reina (1567), catedral de Plasencia, Catedral de Segovia (1525-1577), iglesia Mayor de Santa María en Cazorla (Jaén) y monasterio del Escorial (1575), torre de la Catedral de la Encarnación de Guadix en Granada (1549) atribuida a Diego de Siloe, torre de la Catedral de la Asunción en Coria y Carnicerías Reales en Priego Córdoba, Andalucía, entre otras.

También hay en el Castillo de Graz (Grazer Burg) en Austria, que tiene escalera de doble espiral (1499), el Castillo de Hartenfels en Torgau, Alemania (1537), el Convento de la Orden de los Pobres Caballeros de Christo y el Castillo de los Templarios en Tomar en Santarem, Portugal, entre otras.

Sin duda, los maestros del tardogótico llevaron la escalera de caracol a otra dimensión, convirtiéndola en un elemento de referencia para mostrar el buen gusto, sus habilidades y destrezas, pues todas estas escaleras presentaban un reto, una complejidad tanto geométrica como aritmética, además de la dificultad de la talla y la estereotomía. Para el trazado de estas escaleras de caracol, era necesario la utilización de plantilla, construida con escuadra.

En 1909, el arquitecto alemán Karl Böttcher, realizó su tesis doctoral titulada *Altsächsische Wendeltreppen* (Antiguas escaleras de caracol sajonas), donde analiza y dibuja más de cien escaleras de caracol construidas durante el periodo gótico y renacentista en la región de Sajonia (Böttcher 1909).

Asimismo, en 2016, el arquitecto Alberto Sanjurjo Álvarez presentó su tesis doctoral titulada *La escalera de caracol en los tratados de cantería española de la Edad Moderna y su presencia en el patrimonio construido hispánico: estudio geométrico y constructivo*, en la cual entre otras cosas, recoge casi todas las investigaciones realizadas sobre este tipo de escaleras durante más de diez años. Señala que el caracol de Mallorca surge, en el ámbito mediterráneo pero se desarrolla con fuerza en todo el territorio español, incluido el de ultramar (Sanjurjo 2007, 835-845). Al parecer no conocía el caracol de la catedral de Santo Domingo, Primada de América, pues no lo menciona entre los caracoles.

En 2017, Pablo Moreno Dopazo presentó su tesis doctoral *Trazas de montea y cortes de cantería en la obra de Rodrigo Gil de Hontañón,* describe las escaleras de caracol fabricadas por Gil de Hontañón y hace comparación entre ellas.

La Catedral de Santo Domingo Primada de América

El 28 de julio de 1508, Julio II, mediante bula *Universalis Ecclesiae Regiminis* concedió a los Reyes Católicos el patronato universal de todas las iglesias de las Indias; «se trata de una concesión como no había existido nunca entonces en el Derecho canónico» con el cual el rey gozaría del privilegio de que «no se nombrase ninguna dignidad eclesiástica en América sin la previa presentación de un candidato idóneo por su parte» (Salinas Araneda 2004, 51).

Antes de crear las primeras diócesis en el Nuevo Mundo, la corona había construido iglesias para poder dar seguimiento al proyecto evangelizador, para lo cual envió cuadrillas de constructores. El 14 noviembre de 1509, el rey escribe al almirante Diego Colón y dice que: «Deveys mandar dar prisa en el hazer de las iglesias desa ysla; y que sean buenas y bien fuertes, aunque no sean muy altas ni muy fundiosas, porque las grandes tormentas, que en esa ysla se comiencan á venir, no las derriben; y en esto creo yo que se gastarán la mayor parte de los diezmos, entretanto que van allá los perlados» (Flores 2011).

El 8 de agosto de 1511, mediante la Bula *Romanus Pontifex,* el Papa Julio II creo tres diócesis: la de Santo Domingo y La Concepción en la isla Española; y la de San Juan en la isla de Puerto Rico; y se designan los prelados que estarían a cargo de cada diócesis (Flores 2011). Todas sufragáneas de la Arquidiócesis de Sevilla hasta 1546, que se crea el Arzobispado de Santo Domingo.

El 12 de mayo de 1512, fray Francisco García de Padilla, religioso de la Orden de San Francisco, «… erigió la Silla y Cabildo catedralicio de Santo Domingo, de la isla Española, estando dentro de la Iglesia Catedral de Burgos y en presencia del D. Fray Pascual de Ampudia obispo de Burgos…» (Tapia y Rivera 1854, 365), convirtiéndola en la Catedral Primada de las Indias. En su creación el papa Julio II «la dedicó al misterio de la Encarnación del Verbo Eterno» (León Pinelo, fol. 81 r.).

Las ejecutoriales como obispo fueron extendidas el 27 de diciembre de 1512 (Schäfer 2003 II, 599), Sin embargo, el obispo García de Padilla retardó la toma de posesión de su diócesis y mientras llegaba envío «al bachiller Carlos de Larrea, arcipreste de la catedral de Santo Domingo, á do va con poder del Obispo». Al llegar, Larrea encontró una pequeña iglesia de madera con cubierta de cana que daba servicio a los vecinos. Por tal motivo, García de Padilla pide a las autoridades terreno para construir una iglesia digna y el 26 de marzo de 1514 el obispo de la Concepción de la Vega, Pedro Suarez de Deza, bendice el solar donde se construiría la catedral en presencia del virrey Diego Colón y autoridades de la colonia. Pero la muerte sorprende a García de Padilla en Getafe, a finales de 1515, antes de llegar a Santo Domingo y todo se detiene.

Estando la sede vacante, el Cardenal Cisneros presentó al Papa, el 26 de enero de 1516, al italiano Alessandro Geraldini, humanista, considerado uno de los religiosos más cualificados del momento, muy admirado por los Reyes Católicos y preceptor de las Infantas María y Catalina (Tisnés 1987, 117). El 13 de febrero de 1517, se le extendieron las ejecutorias como obispo, que recibió en Londres, el 13 de septiembre del mismo año, mientras estaba como delegado del Papa León X, ante monarcas europeos solicitando ayuda contra el sultán turco Solimán (Schäfer 2003).

Geraldini, también retardó su llegada a Santo Domingo y a finales de 1517 envió a su sobrino Onofre Geraldini y a su criado Diego del Rio, para que en su nombre tomaran posesión de su diócesis. El 17 de septiembre de 1519 llega Geraldini a Santo Domingo, asumiendo el 6 de octubre de 1519 (Dussel

1970). Al llegar se convirtió en el primer obispo residente en la diócesis de Santo Domingo. Además, fue el promotor y el que da inicio a la construcción de la obra de fábrica de la catedral, bendiciendo la primera piedra el 25 de marzo de 1521 (Tisnés 1987).

La catedral inicia bajo el reinado del emperador Carlos V y la reina Juana la Loca, y con el obispo Juan Rodríguez de Fonseca, como presidente del Consejo de Indias, personaje muy influyente en la toma de decisiones en asuntos indianos. Es una iglesia de planta típica de tres naves casi de igual altura con cabecera ochavada de cinco lados, cubierta por bóvedas de crucería de piedra con terceletes, combados y estrelladas que descansan sobre columnas circulares. Está dividida en ocho tramos, con siete capillas de cada lado, entre contrafuertes, dos puertas laterales y sacristía en el lado sur (Flores & Prieto 2017) (figura 1).

Las trazas de la Catedral de Santo Domingo están desaparecidas pero es muy probable que en ella hayan actuado más de un maestro, y hay documentos y huellas que indican que la obra fue detenida y reiniciada con algunas modificaciones. Esto no es de extrañar, pues era usual que los reyes, la iglesia o ambos, solicitaran crear juntas o cónclaves de maestros de obras para evaluar, trazar o tomar decisiones sobre las obras que se realizaban en el momento. Una famosa reunión se realizó en 1512 para determinar la ubicación definitiva de la Catedral de Salamanca y revisar la traza (propuesta por Juan de Álava), en la cual participaron Juan de Álava, Antón Egas, Juan Gil de Hontañón, Juan de Badajoz, Juan de Orozco, Alonso de Covarrubias, Juan Campero, Juan Tornero y Rodrigo de Saravia. Esta junta se conoce como «junta de los nueve maestros» (Flores 2011, 224).

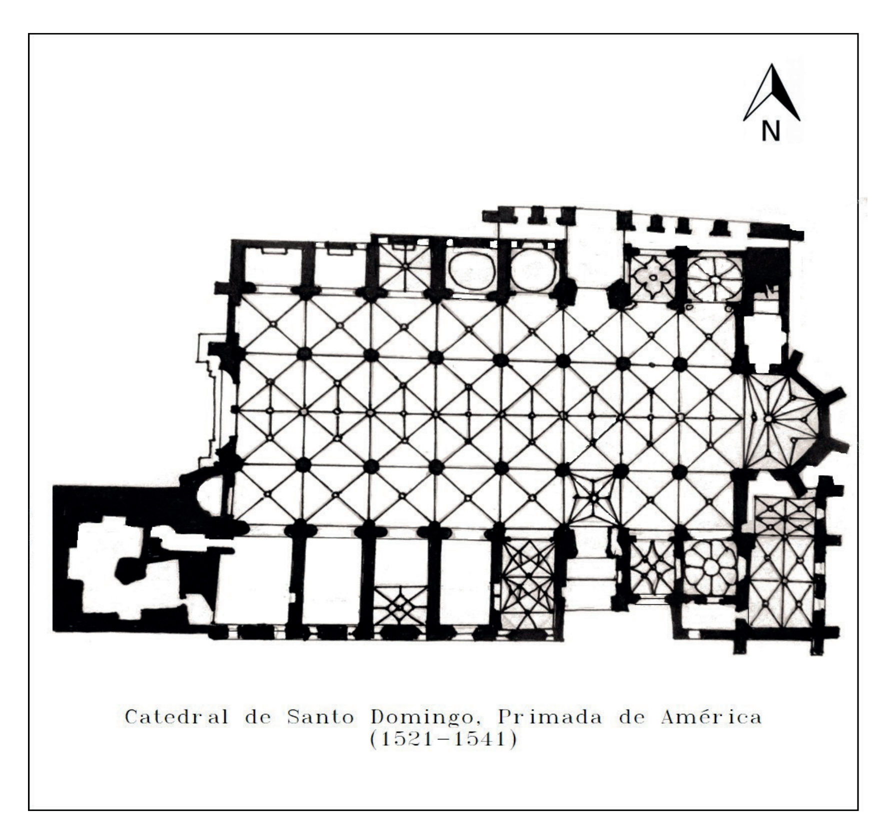


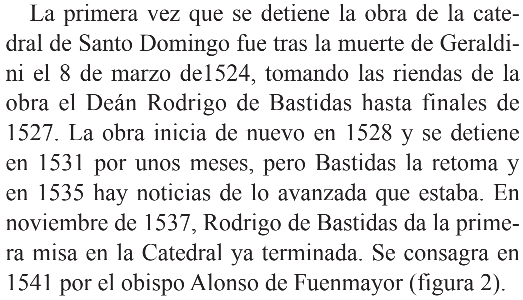
Figura 1
Esquema de la escalera de caracol de la Catedral de Santo Domingo (Flores 2019)



Figura 2
Fachada de la Catedral de Santo Domingo, Primada de América (Prieto 2017)



Figura 3
Escalera de caracol Catedral de Santo Domingo (Flores 2019)



La primera vez que se detiene la obra de la catedral de Santo Domingo fue tras la muerte de Geraldini el 8 de marzo de1524, tomando las riendas de la obra el Deán Rodrigo de Bastidas hasta finales de 1527. La obra inicia de nuevo en 1528 y se detiene en 1531 por unos meses, pero Bastidas la retoma y en 1535 hay noticias de lo avanzada que estaba. En noviembre de 1537, Rodrigo de Bastidas da la primera misa en la Catedral ya terminada. Se consagra en 1541 por el obispo Alonso de Fuenmayor (figura 2).

En la catedral está plasmado el modelo Hallenkirche castellano, implantado por los maestros y canteros relacionados y formados con el foco burgalés, con la participación de cuadrillas de constructores de mayoría trasmeranos y vascos, que contrató la corona a través de la Casa de Contratación. En las Indias, la selección de los oficiales reales, religiosos y hombres de todos los oficios, entre ellos constructores, estuvo a cargo del obispo Juan Rodríguez de Fonseca, quien acudió a maestros de obras catedralicias de su confianza como: Rodrigo Gil de Hontañón, Juan de Álava y Francisco de Colonia entre otros. Los constructores eran contratados por tiempo determinado y luego debían volver a Castilla. La gran mayoría se regresaban, algunos se quedaron y otros volvieron de nuevo a Las Indias y a México (Flores y Prieto 2017, 185).

La escalera de caracol de la Catedral de Santo Domingo

La Catedral de Santo Domingo, de planta hallenkirche y con soluciones ornamentales tardogóticas muy complejas, tiene escalera de caracol con ojo abierto helicoidal levógira, que servía para acceder al coro alto y a la cubierta donde estuvo ubicado un pequeño campanario (figura 3). La escalera tiene una ubicación secundaria, ligeramente escondida en el lado sur de la catedral, al lado de la puerta sur que da hacia la claustra, cuyo objeto era estrictamente funcional (figura 4).

El caracol se edificó en la primera mitad del siglo XVI y se desarrolla en una planta circular de 178 cm de diámetro, dentro de un pozo o cañón (hueco vertical en el que está enclavada una escalera) de sillares de piedra coralina, de 14 metros de altura cubierto por una cúpula de ladrillos. A lo largo de la escalera hay cuatro huecos de ventanas para la iluminación y ventilación. El eje o machón es de directriz helicoidal y cuenta con un ojo abierto. La escalera inicia a 3,05 m sobre el nivel de piso y se eleva a 11,55 m para salir a la cubierta (figura 5).

Los peldaños son de cantería, con una atura de una cuarta de vara (20 cm), 70 cm de largo en el lado superior y 74 cm en el lado inferior, sin contar con la



Figura 4
Puerta de acceso a la escalera de caracol de la Catedral de Santo Domingo (Flores 2019)

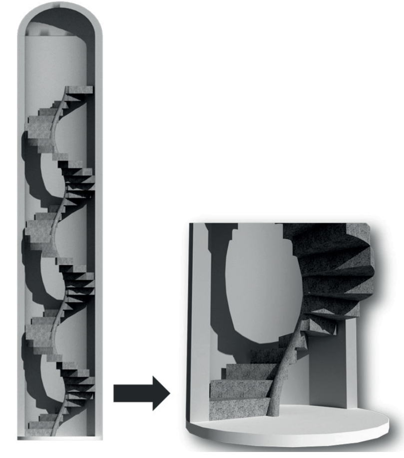


Figura 5
Esquema grafico del caracol de la Catedral de Santo Domingo (Flores 2019)

El trazado de cada peldaño parte del patrón de su planta, labrando un prisma vertical con la altura fija de la contrahuella, y eliminando el material sobrante de la cara inferior, con el fin de que cada pieza enlazada con las contiguas, genere una superficie helicoidal continua (Moreno 2017: 671). Recientes estudios plantean que hasta el cuarto peldaño el conjunto es muy estable, capaz de sostenerse, sin cargar en el empotramiento, mientras se apoyan mayor porción de los peldaños que queda empotrada en el muro del cañón de la escalera (figura 6). El muro perimetral se va levantando por hiladas de sillares a medida que se van colocando los 35 peldaños. No tienen ménsulas de apoyo y presentan regularidad y exactitud en sus dimensiones. Están unidos por junta de 4 cm de espesor. Por su cara interior son lisos evitando dejar ver el escalonamiento. Los peldaños se apoyan en el machón helicoidal, y a medida que va subiendo gira y se desplaza de la vertical, por lo que la transmisión de cargas a través del apoyo central se ve en cierta medida comprometida (figura 7).

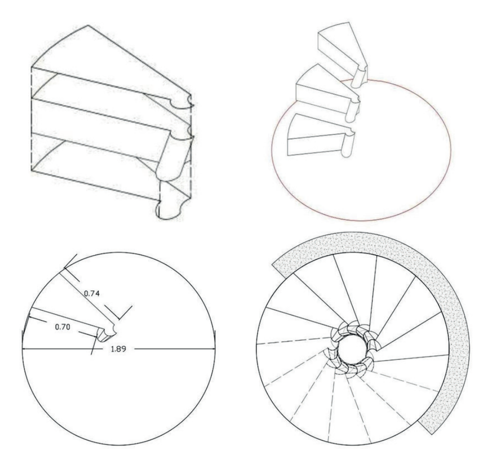


Figura 6
Planta de escalera y detalle de escalón (Flores 2019)

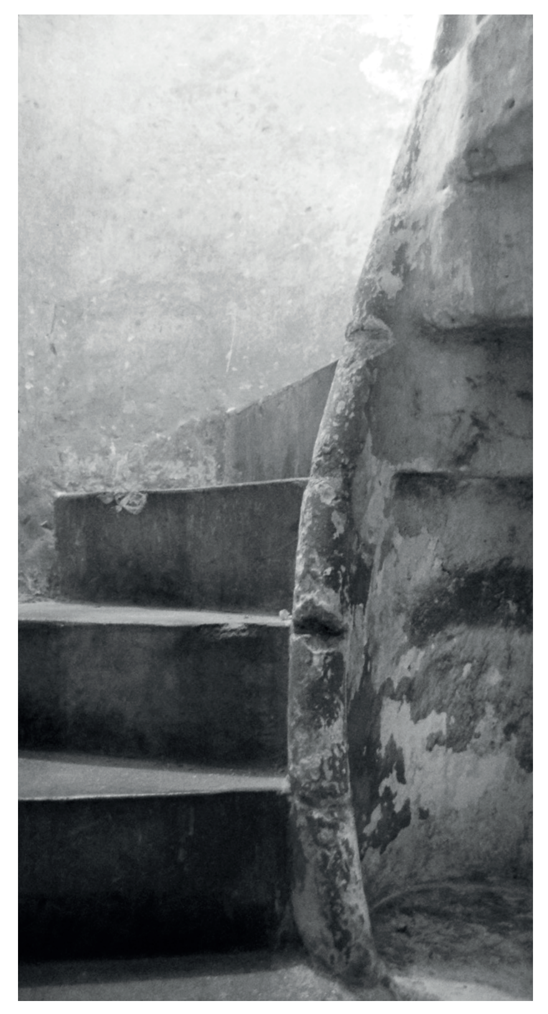


Figura 7
Detalle de arranque del caracol (Flores 2019)



Figura 8
Detalle de la talla de la trompa en forma de concha (Flores 2019)

teriales y operarios en el borde. Sólo considerando peso propio la escalera puede acumular hasta siete peldaños al aire sin peligro de vuelco. El octavo peldaño produce claros problemas de estabilidad (Fernández et al 2017).

En el exterior, la escalera genera una trompa cónica, en esviaje, en forma de concha que tiene una talla con rastros anotómicos de la cara de un hombre con barba, aludiendo a Dios como ser supremo (figura 8). La trompa proporciona espacialidad al portal Sur o Puerta de Geraldini y al mismo tiempo ayuda a carga el muro perimetral que conforma el cilindro de la escalera, ya que conducen los empujes hacia los muros en que están insertas (Rabasa 2000: 210) (figura 9).

Sin duda alguna, esta escalera de caracol representa la habilidad de los talleres de cantería catedralicios burgaleses que intervinieron en la Catedral de Santo Domingo, que en esos momentos formaba parte del reino de Castilla (figura 10).

De acuerdo a Moreno Dopazo, es muy habitual encontrar escaleras de caracol en los edificios trazados por Rodrigo Gil de Hontañón (Moreno 2017: 671). Sanjurjo, señala que la frenética actividad profesional de Rodrigo Gil en todo el territorio hispano, así como sus audaces propuestas, le convirtieron en el gran autor de los caracoles con ojo en España.

Se desconoce quién fue el autor del caracol de la catedral de Santo Domingo, pero es muy probable que fuesen maestros cantero de la cuadrilla de Rodrigo Gil de Hontañón o de Juan de Álava porque en el listado de constructores que estuvieron en la isla Española aparecen nombres de maestros, canteros, albañiles y carpinteros que trabajaban con ambos. Es probable que Gil de Hontañón y Álava, así como compartieron y se enfrentaron en varias ocasiones en Castilla, lo hayan hecho de nuevo, pero esta vez en la Catedral de Santo Domingo, a miles

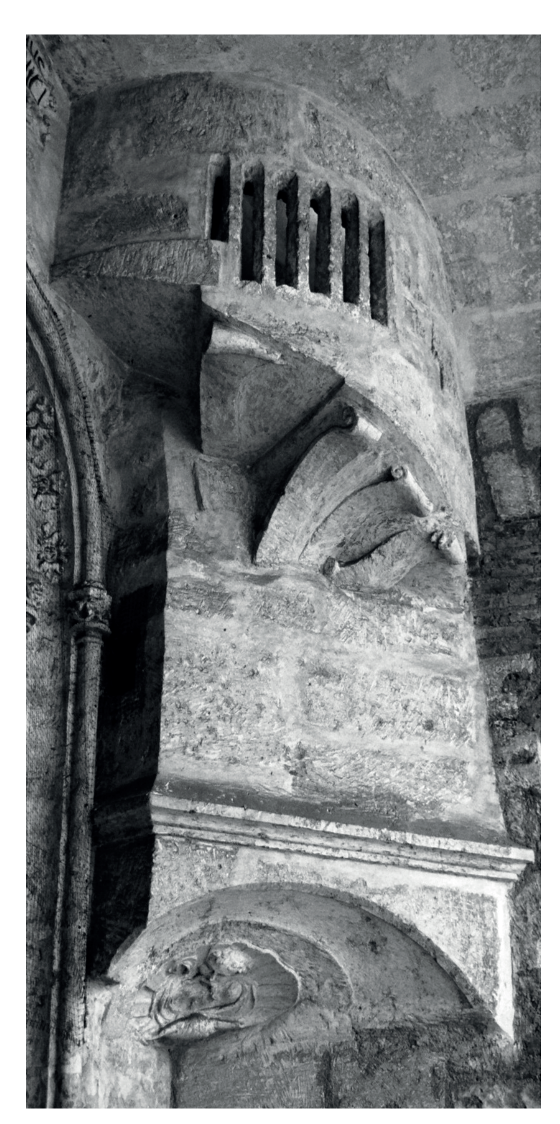


Figura 9
Vista de la Puerta sur o Puerta de Geraldini (Flores 2019)

de kilómetros de distancias, en un territorio que nunca conocieron.

Sin duda alguna, la escalera de caracol de la Catedral de Santo Domingo es un ejemplo de una de las mejores piezas de arquitectura española de ultramar. Tal como dijo Perouse (1985), el caracol de Mallorca es ejemplo de la manera nacional de construir la arquitectura a la española.

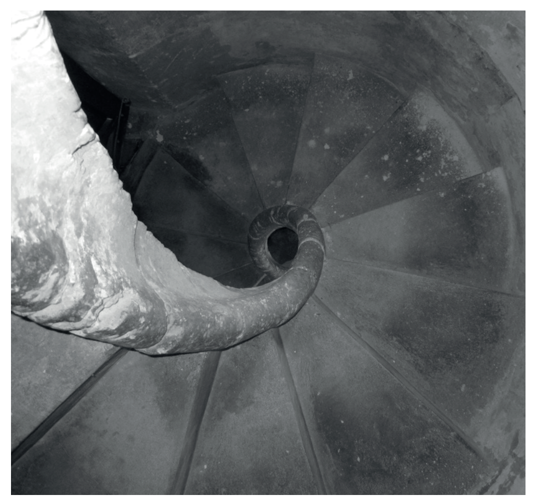


Figura 10
Escalera caracol de ojo abierto de la Catedral de Santo Domingo (Flores 2019)

Lista de referencias

Barbé-Coquelin de Lisle, G. 1977. *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira. Edición con introducción, notas, variantes y glosario hispano-francés de arquitectura*, Tomo 1, Confederación Española de Cajas de Ahorros, Albacete: Editorial Castalia.

Böttcher, K. 1909. *Altsächsische Wendeltreppen, nebst einem Uberblick uber die Entwicklung des Wendeltreppenbaues im allgemeinen*, Dresden: Genhard Kühtmann.

Calvo López, J. 2003. Estereotomía de la Piedra. En *Master de Restauración del patrimonio Histórico. Área III. Intervención y Técnica*, 115-151. Murcia: Universidad Politécnica de Cartagena, Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia, Academia del Partal.

De L'Orme, P.1576. *L'architecture de Philibert de L'Orme*, Paris: Jérôme de Marnef y Guillaume Cavellat.

Dürer, A. 1525. *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheyt*: in *Linien Ebnen vo gantzen Corporen*, Libro I. Prop. 17. Nüremberg: Hieronymus Andreae.

Dussel, E. 1970. *El Episcopado Hispanoamericano. Institución Misionera en defensa del indio (1504-1620*), Una colección de estudios sobre el fenómeno religioso en América Latina. Sondeos No.35, V.4. Cuernavaca, México: Centro Intercultural de Documentación.

Fernández Cabo, M. C., A. González Uriel y M. De Miguel. 2017. La triple escalera de caracol en el Convento de Santo Domingo de Bonaval (Santia-

go, España): hipótesis de diseño y construcción. *Informes de la Construcción*, 69 (546): doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.16.119.

Flores Sasso, V. 2011. Arquitectura de la Catedral. En *Basílica Catedral de Santo Domingo*, editores J. Chez Checo, E. Pérez Montas y E. Prieto Vicioso, Patronato de la Ciudad Colonial de Santo Domingo: Amigo del Hogar.

Flores Sasso, V. y E. Prieto Vicioso. 2017. El modelo Hallenkirche o iglesia-salón en el reino de Castilla de Ultramar. La Catedral de Santo Domingo. En *Obra Congrua, 1416. 500 Aniversario de la Consulta de la Catedral de Girona*. Universidad de Girona, Departamento de Arquitectura e Ingeniería de la Construcción et al.

González García, J. L. 2004. *Alberto Durero. Tratado de Arquitectura y Urbanismo Militar*, Madrid: Ediciones Akal.

Guardia, A. de. 1566. «Rasguños de arquitectura y cantería. Anotaciones sobre una copia de *Battista Pittoni, Imprese di diverse Principi duchi, signori e d'altri personaggi et huomini illustri*», Venecia, Biblioteca Nacional de España, ER/ 4196.

León Pinelo, A. de.1630. *Tratado de confirmaciones reales de encomiendas, oficios i casos, en que se requieren para las Indias Occidentales*.

Lluis i Ginovart, J. 2016. Geometría y traza de escaleras góticas. Las escuadras como ábacos en la construcción de los caracoles de la catedral de Tortosa. *Informes de la Construcción*, 68 (541).

Martínez de Aranda, Ginés. [1600] 1986. *Cerramientos y trazas de montea*. Edición facsímil. Editado por José Mañas y Antonio Bonet Correa. Madrid: Biblioteca del Servicio Histórico del Ejército – CEHOPU.

Perouse de Montclos, Jean Marie. 1985. La vis de Saint Gilles et l'escalier suspendu dans l'architecture française du XVI siécle. En *L'escalier dans l'architecture de la Renaissance*, 83-91, Picard.

Rabasa Díaz, E. 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX.* Madrid: Ediciones Akal.

Salinas Araneda, C. 2004. Relaciones entre el poder temporal y el poder espiritual en la historia. En *Lecciones de derecho eclesiástico del Estado de Chile,* 25-64. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Sanjurjo Álvarez, Alberto. 2007. El caracol de Mallorca en los tratados de cantería españoles de la edad moderna. En *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Burgos, 7-9 junio, editado por M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno, S. Huerta, 835–845. Madrid: Instituto Juan de Herrera, SEdHC, CICCP, CEHOPU.

Sanjurjo Álvarez, Alberto. 2009a. Entre el utilitarismo y la escenografía: el caracol de varias subidas en la arquitectura española. En *Actas del sexto Congreso nacional de Historia de la Construcción*, Valencia, 21-24 octubre, 1317-1328. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Sanjurjo Álvarez, Alberto. 2009b. Historia y construcción de la escalera de caracol. El baile de la piedra. En *El arte de la piedra. Teoría y práctica de cantería*. Madrid: CEU Ediciones.

Sanjurjo Álvarez, Alberto. 2016. *La escalera de caracol en los tratados de cantería española de la Edad Moderna y su presencia en el patrimonio construido hispánico: estudio geométrico y constructivo.* Tesis doctoral, Universidad Politécncia de Madrid.

Schäfer, E. 2003. *El Consejo Real y Supremo de las Indias su historia, organización y labor administrativa hasta la terminación de la Casa de Austria*. Madrid: Marcial Pons, Ediciones de Historia.

Tapia y Rivera, A. 1854. *Biblioteca histórica de Puerto-Rico: que contiene varios documentos de los siglos XV, XVI, XVII y XVIII. Conservados y ordenados por don Alejandro Tapia y Rivera.* Imprenta de Marques: Puerto Rico.

Tisnés, R. M. 1987. *Alejandro Geraldini. Primer Obispo residente de Santo Domingo en la Española. Amigo y defensor de Colón*. Serie Estudios 1. Colección Catedral Primada. Oficia de la Obra y Museos de la Catedral, Santo Domingo: Editora Amigo del Hogar.

Viollet le Duc, E. 1854. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle. Vol V*. París: A. Morel & Cie. Editeurs.

Zaragozá Catalán, Arturo. 2007. La Escalera de Caracol tipo Vis de Saint-Gilles. En *LEXICON: Storie e Architettura in Sicilia,* Nº. 4, 8-14.

Erhard Rohmer y la construcción con tierra

Juana Font Arellano

Hijo de un conocido editor de Düsseldorf nace Rohmer en 1943. Durante 1967 finaliza Arquitectura en la Facultad de Ingeniería, de Tréveris. Entre ese año y 1969 trabaja como ingeniero y arquitecto en Wayss Freytag Ingenieurbau AG y en U.Hesch GMBB. Termina Sociología en 1971 y Urbanismo en 1976, ambos en la Technische Universitat de Berlín, donde obtiene el título de Ingeniero Urbanista. Diseña el Plan general de Weinheim. En 1977, amplia estudios sobre construcción con tierra y arquitectura alternativa en el Goddard College, de Vermont, USA y luego en la Universidad alemana de Aachen.

Llega a España a finales de 1977 para aprender castellano pues quiere desarrollar su proyecto en Hispanoamérica. Al descubrir la belleza del patrimonio español se queda en suelo ibérico para intentar rescatar algo que le llena de admiración. Estudia Lengua y Cultura de España en la Universidad Complutense y en 1978 realiza los Cursos que Julio Caro Baroja imparte en el Instituto de Antropología y los de Doctorado en la ETSAM, con un trabajo sobre la arquitectura popular, sobre todo de Castilla y León.

Navapalos

Durante 1982 funda Amigos de la Arquitectura Autóctona y de las Tradiciones Populares de España, INTERACCIÓN y en 1983 interesa en sus estudios sobre el uso de la tierra al Instituto Torroja, del CSIC, donde consigue un convenio de investigador.

En 1985 crea el ECO-Centro Navapalos, eligiendo Soria para situarlo, por ser una de las provincias más deshabitadas y ricas en modos de construir con tierra. El 80% de edificios del lugar, con tipos muy variados de arquitectura popular como viviendas, palomares, fraguas, bodegas o atalayas y una iglesia, estaban levantados con encestados, adobe y tapia.

Su interés por lo rural le llevó también a estudiar la construcción de La Rioja junto al antropólogo Luis Vicente Elías, publicando *Las cocinas de Cameros* en 1989.

El año 1996, con la colaboración del CSIC, profesores universitarios e investigadores, crea la Fundación Navapalos, que preside primero Julio Caro Baroja y luego Fernando Chueca Goitia, para recuperar el pueblo con sistemas tradicionales de construcción pero sin renunciar a las nuevas técnicas, buscando convertir el lugar en un Centro de Investigación, Formación y Demostración en el que contaran también las construcciones bioclimáticas, las energías renovables y el uso racional de la energía para desde allí extender el conocimiento a los países en desarrollo y a las Universidades y Escuelas Técnicas, con el fin de que incluyeran estos asuntos en sus estudios.

Desde 1985 se han impartido allí más de 70 cursos de verano respaldados por la Universidad de Valladolid. Se han celebrado, también en Navapalos y en el Instituto del Frío del CSIC o el Museo de Antropología, ambos en Madrid, XXI Congresos Internacionales sobre *La Tierra como material de construcción*, además de firmar convenios con las Universidades de Va-

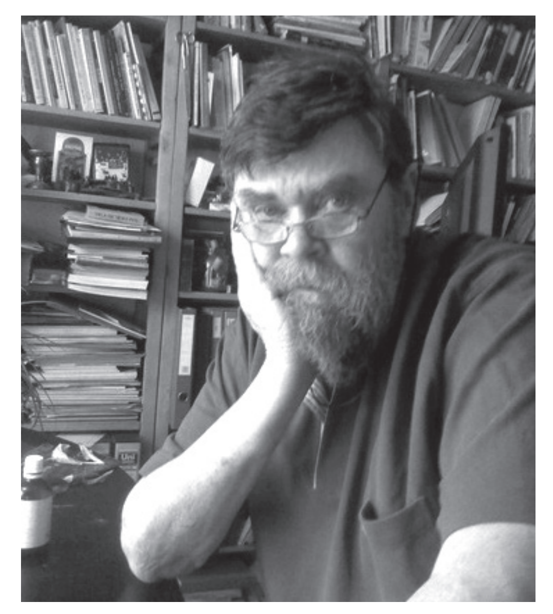


Figura 1
Erhard Rohmer. Foto propiedad de la Fundación Navapalos

lladolid, Internacional de Cataluña, Politécnica de Madrid y de Valencia, todas en España, la italiana de Udine y la búlgara UACG de Sofía. Se han mantenido relaciones con CRATerre, de Francia, CDterra de Italia, Dachverband Lehm, de Alemania, IGLehm, de Suiza, Terra Morpho de Bélgica y Center for Earthen Architecture, del Reino Unido.

Hay más de setenta proyectos realizados en Nicaragua, Méjico, Colombia, Bolivia o Uruguay, algunos, que analizaremos luego, seleccionados para formar parte de los cien mejores del mundo. Todos estos trabajos han originado seis libros sobre Arquitecturas de tierra y otros más como resultado de las Aulas Julio Caro Baroja, a cuyo frente estuvo el antropólogo Luis Díaz G. Viana, responsable de las sucesivas publicaciones que nacieron entre 1996 y 2004.

Entre 1983 y 2006 han organizado exposiciones como *Arquitectura sin arquitectos,* o *Arquitecturas de Tierra*, mostrada en Madrid, Munich y Burgo de Osma, *Arquitecturas de tierra y medio ambiente*, expuesta en Valladolid o *Arquitecturas de tierra en el mundo*, exhibida en el Museo de América de Madrid, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid.

Rohmer vio muchos de sus trabajos reconocidos. El año 1998, en Nairobi, Naciones Unidas seleccionó el Proyecto ECO- Navapalos como uno de los mejores del mundo para luchar contra la despoblación. La Junta de Castilla y León le concedió el *Premio Castilla y León 2000* por su aportación a la conservación del medio ambiente al fomentar el uso de la arquitectura bioclimática. (Vera 2019, Comunicación personal sobre notas de Rohmer)

La construcción de tierra: un problema de tamaños, formas y humedad

Hace pocas décadas era casi imposible encontrar algún constructor que no conociera los múltiples modos de utilizar las diferentes tierras en las variadas maneras de usarlas, pero hoy lo difícil es hallar profesionales capaces de manejar correctamente este material.

Muchas son las causas de este olvido. Los materiales actuales, más homogéneos y fáciles de someter a norma, resultaron capaces de erradicar el empleo de un compuesto cuya complejidad resulta inexplicable para el hombre actual quien observa, asombrado cómo algo formado por un grupo de gránulos, de distinto tamaño, propiedades diferentes y composición aleatoria, siendo sometido a un grado de humedad deliberado pueda usarse en forma sólida, pastosa e incluso en estado semi-líquido, para realizar edificios tan llenos de sabiduría y belleza como los materializados a lo largo de los siglos.

Sin embargo, pese a resultar complejo de sujetar con normas, ser heterogéneo no es más que ofrecer diferentes posibilidades para distintos usos, como recuerdan los jóvenes investigadores. (González 2016, 9). Sin duda ése es un motivo por el que la construcción con tierra ha sido muy valorada por la arquitectura tradicional.

Es dudoso que los artesanos rurales conocieran la existencia de las teorías expuesta en el s. III a. C, por Apolonio de Perga sobre la tangencia que experimentan esferas de tamaño diferente, cuyos intersticios pueden ser colmatados con otras de menor diámetro pero tal posibilidad era utilizada por los constructores tradicionales, tal como aventuran notables teóricos actuales de la construcción con tierra. (Auger y Fontaine 2009, 115)

En efecto, la puesta en obra de la tierra encofrada y compactada necesita el aporte de diferentes tama-

ños. Por ello, cuando querían realizar muros apisonados, los constructores preferían barredas con humedad natural, materiales de distintos calibres y contenidos adecuados de arcilla.

Para fabricar adobe elegían lugares donde también hubiera suficiente cantidad de arcilla y componentes con diferente tamaño. Sabían que podían modificar la composición del material, eliminando con la criba las piedras mayores y evitando los riesgos de fisuración mezclando el barro con arena o fibra, lo que no siempre era preciso, antes de añadir el agua necesaria para obtener una textura más húmeda que la requerida por la tapia,.

En caso de utilizar la tierra con usos muy habituales en la construcción rural como paredes de mano, tapialetes y tapias vertidas, o para aplicarla en chamizos, encestados y emparillados, se empleaban formas más fluidas, lo mismo en morteros o revocos, sea para revestir muros o trabando las piezas que los forman. Entonces la tierra debe presentar componentes con menor tamaño, presencia de arenas y mayor cantidad de limos y de arcilla pues es ésta la que logra la cohesión de las demás partículas, que funcionan como los áridos en la mezcla del hormigón.

La forma de plaqueta que muestra la arcilla y su pequeñísimo tamaño logra, al ser mezclada con agua, formar un *coloide*, palabra derivada del griego *κολλοειδές* (kolla=cola y eidos=tipo de) muy eficaz por lograr la perfecta unión de los demás componentes.

Recuperando conocimientos

La simplificada clasificación que precede a este párrafo, recogiendo los componentes fundamentales de la tierra usada para construir, cantos, gravas, arenas, limos y arcilla, había sido casi del todo olvidada, incluso desdeñada como algo anacrónico, por los docentes, técnicos y constructores españoles cuando Rohmer decide quedarse en Castilla y León para intentar salvar su enorme y variado patrimonio.

Era consciente de que recuperando conocimientos de forma científica protegería los sistemas tradicionales de construcción, incluso aplicando a éstos las nuevas posibilidades técnicas con lo que lograría mantener la arquitectura rural de cada lugar, preservando así su fisonomía auténtica y los rasgos de su identidad.

Empezó entrevistando, en dos centenares de pueblos, a los viejos artesanos que aún recordaban cómo poner en obra y para qué clase de técnica servía mejor la tierra de cada cantera con lo que recopiló datos respaldados tanto por la sabiduría profesional presente en muchos núcleos rurales como por los variados tipos construidos que en ellos se conservaban.

Comprobó así que las características ofrecidas por el material propio de cada lugar imponen las técnicas constructivas con las que ponerlo en obra (Carazas 2017,6-8)

Considera Rohmer entonces la necesidad de aplicar criterios científicos para encontrar el motivo que lograba la pervivencia de sistemas, yacimientos y métodos empíricos para ponerlo a disposición de cuantos lo precisaran:» La recuperación de las técnicas tradicionales predominantes en España, el deseo de participar en la mejora del material tierra, para reactivar la arquitectura autóctona y participar en solucionar los problemas de alojamiento de otros países , insistiendo en el intercambio de tecnología apropiada Norte-Sur y Sur-Sur, nos ha llevado a instalar en Navapalos el Centro de Investigación sobre Técnicas, Materiales autóctonos y Construcciones experimentales, para participar en la investigación internacional, intentando la elaboración de normas nuevas o modificaciones de las existentes (DIN, ASTM, UNE,.....) que hagan comparables los resultados de los ensayos de laboratorio, de la identificación, comportamiento y control de calidad de los suelos así como de la obra completa» (Vera 2019, Comunicación personal sobre notas de Rohmer)

Inician, en el laboratorio de campo, ensayos con aditivos diferentes como cal, cemento o betún, para investigar sus efectos en la estabilización e impermeabilización de los adobes. También forman piezas experimentales, según los textos europeos de la postguerra pero, en vez de mezclar el adobe entero con cemento, éste es usado formando parte de la capa exterior, aunque el problema de adhesión entre los dos materiales no se resolvió plenamente.

Otra investigación analizó la mezcla de barbotinas y paja, para fabricar bloques ligeros, conocidos en Francia como «*Terre-Paille*», utilizados también por el arquitecto noruego Sverren Fehn, galardonado con el Premio Pritzker para alzar viviendas en varias zonas de Escandinavia.

Utilizan ya métodos como la fotogrametría y el análisis micromorfológico, hoy muy habituales pero casi desconocidos hasta hace pocas décadas.

Con el fin de subrayar el fácil moldeado y la plasticidad de la tierra, para interesar a los constructores, Rohmer logra que se realicen, como primeros trabajos:

- un asador muy sencillo, para estudiar los efectos de la retracción.
- un muro de tapia, siguiendo técnicas, utensilios y herramientas tradicionales.
- la construcción de una bóveda nubia, con contramuro de adobe, siguiendo las indicaciones de Hassan Fathy en su texto *Construir con el pueblo* pues este tipo de bóveda, una de las más antiguas, puede ser construida sin encofrado puesto que es autoportante.

Otros trabajos experimentales realizados entonces en Navapalos, con adobes, fueron:

- una construcción experimental, abovedada, para levantar células sanitarias cuyas duchas, calentaran el agua con energía solar pasiva. Realizada la cimentación, se construyó un zócalo con bloques de cemento, doblemente aislado por tela asfáltica, para impedir el remonte del agua capilar y contrarrestar la de salpicadura. Sobre el zócalo iba la estructura de madera para las duchas, La protección de la bóveda llevaba una capa de revestimiento de arena y paja.
- construcción de un arco con bloques estabilizados mediante el 6% de cemento, realizados con la prensa Brepak.
- maqueta de barbacoa- para levantar una estructura libre, con tres fuegos diferentes, cada uno con su propia salida de humos, alzada sobre zócalo de mampostería con argamasa de barro. (Rohmer 1988,105-117)

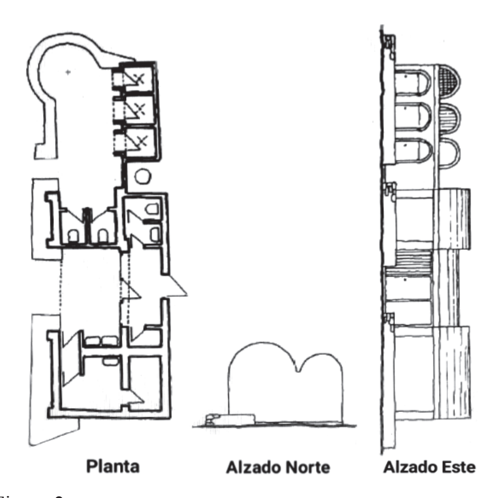


Figura 2
Pabellón experimental de dotación sanitaria, en Navapalos 86 (Rohmer 1988, 246)

Primeras investigaciones en el CSIC-ITCC

Uniendo los resultados obtenidos por la práctica a los que daban los laboratorios se fue comprobando cuál era la granulometría más adecuada, qué probeta reflejaba mejor la resistencia a tracción, flexión o compresión, cómo obtener mayor protección, frente a al erosión hídrica, para los muros de tapia, mediante mezclas de tierra y diferentes componentes y cómo aumentar la duración de estos muros compactándolos con procedimientos que dieran grados de cohesión variados. Con los registros proporcionados por cada prueba se trataba de deducir cómo convenía actualizar los métodos tradicionales empleados en cada lugar, para obtener su pervivencia, interesando en el asunto al Instituto Torroja, como sabemos, para comprobar las causas que conseguían, desde hacía siglos, un éxito constatable a estos logros basados en la mera experiencia. Las comprobaciones iniciales que corroboraran científicamente la validez de los métodos empíricos, no fueron publicadas hasta noviembre de 1984.aunque ya en 1982 se fundó Interacción, con el fin de recuperar la auténtica construcción tradicional y promover su defensa.

El primer texto producido cita, literalmente, que las investigaciones han sido motivadas tanto por la constatación del enorme interés que la construcción con tierra suscitó en épocas anteriores como por las posibilidades que ofrecía su empleo y por la capacidad de lograr viviendas de bajo coste, cuyos primeros estudios, continuaba este artículo, se remontaban a los ensayos sobre el asunto realizados en un curso de construcción, realizado en Ciadueña(Soria), bajo la dirección de Rohmer, en el que los investigadores tomaron contacto con las herramientas y métodos tradicionales de emplear la tierra. Así, informaban con un resumen, de los aspectos cuyos análisis cons-

tituirían el contenido de esta primera fase investigadora:

1. Las técnicas existentes: adobe, tierra apisonada (tapia), etc.
2. Porcentajes idóneos de los componentes para la elección de los materiales preferibles en cada una de las técnicas anteriores.
3. Consideraciones de los aspectos físicos y mecánicos de la maquinaria existente y en experimentación, así como de las posibilidades respecto a su puesta en obra, costes comparativos, etc.
4. Estudio de las posibilidades para mejorar las características del material tierra mediante diferentes técnicas de estabilización (compactación y correcciones granulométricas, estabilizantes fisicoquímicos, betunes, productos industriales, etc.)

Concluyen en que «El suelo más favorable para la realización de adobes es el que contiene arena en un 55 a 75%, limo del 10 al 28% y arcilla del 15 al 18%».

En cuanto a la tapia constatan que «las dimensiones más generalizadas del encofrado son de 300 cm de longitud, 90 cm de altura y por 50 cm de ancho. La mejor tierra para realizarla es la que contiene de O al 15% de grava, 40 a 50% de arena, 20 a 35% de limos y del 15 al 25% de arcilla».

Además de experimentar estas dos técnicas tan comunes en España, ponen también en obra lo que nosotros llamamos pared de mano (*Cob*, en inglés y *Bauge* en francés), muy usada en varios países, y ensayan sistemas más modernos, trabajando con prensas tipo CINVA-RAM y BREPAK para hacer BTC, bloques de tierra comprimida, constatando que la presión necesaria para la fabricación varía entre los 20 y los 200 kilogramos por centímetro cuadrado.

Comprueban que con frecuencia, según la técnica elegida, es preciso modificar las características de la tierra, corrigiendo su granulometría, añadiendo aditivos, sometiéndola a procesos de compactación o mezclándola con estabilizantes físico-químicos.

Especifican que, cuando lo que se añade es cemento, la cantidad de éste no sobrepasará el 8-10% y la tierra empleada debe contener, al menos, un 10% de arena y grava y que la adición de betunes, no mayor del 2% al 6%, aumenta la resistencia mecánica en seco pero no siempre resulta satisfactoria. (Álvarez, Guinea y Díez-Romeral 1984, 47-51)

Docencia y más investigación

Tras esta primera experiencia de Ciadueña, donde en 1984, se realizaron también labores de docencia, durante 1985, tienen lugar, en el Laboratorio de campo, del Centro de Investigación Navapalos, las Primeras Jornadas sobre la tierra como material de construcción, publicadas en *Navapalos 85*, en las que Rohmer presenta la ponencia «La tierra, material de construcción. Proyecto Navapalos».

En 1986 continúa la colaboración con el Torroja, IETcc, plasmada en sendos artículos publicados por *Informes de la Construcción*. El primero, en el mes de enero, dice en su Resumen:

> El trabajo recoge los primeros resultados de la investigación basada en la actual realidad de las construcciones a base de tierra, teniendo presente su interés ante las nuevas posibilidades que ofrece … la crisis energética y … la necesidad de usar recursos locales y soluciones viables para países en vías de desarrollo. Considerado entre los principales problemas de este tipo de construcciones su limitada capacidad de respuesta ante los agentes atmosféricos —crítica en ambientes húmedos— se pretende establecer parámetros válidos tanto para el comportamiento mecánico, como para su aptitud frente al agua.
>
> Superada una primera fase de clasificación e identificación de los suelos, se han realizado series de probetas con distintas dosificaciones de cal, cemento, cenizas volantes y otros aditivos químicos, estableciendo parámetros de relación entre distintos coeficientes de forma y comportamiento resistente. De estas dosificaciones se ha estudiado su comportamiento frente a ensayo de goteo y exposición al exterior, en las condiciones atmosféricas de invierno, en Madrid.

Continúan los autores .profundizando en la vulnerabilidad ante los agentes atmosféricos, por lo que el diseño y los acabados resultan fundamentales a la hora de neutralizar esta debilidad e insisten en la falta de datos comprobables que permitan intercambiar experiencias y conocimiento. Por ello, y pese a verse abocados a utilizar métodos diseñados para investigar el cemento y las patologías del hormigón, pretenden comprobar las normas ASTM, UNE, y otras para intentar un trasvase crítico experimental

Se valdrán de Análisis mineralógicos por difracción de Rayos X, Comprobación de la composición química del suelo, obteniendo el valor de la sílice por gravimetría, la de los óxidos de aluminio y de hierro por espectrometría de absorción atómica, la presencia de óxido de titanio por fotocolorimetría con peróxido de hidrógeno, los óxidos de calcio y de magnesio por complexometría y los alcalinos por fotometría de llama. Para la clasificación granulométrica se siguió el método HRB (Highway Research Board), que se basa tanto en la granulometría como en la plasticidad.

Se pasó el material por tamices cuya capacidad de cribado oscilaba entre los 2 mm y las 80 micras y se comprobaron los índices líquidos y de plasticidad, representando ambos en sendas Tablas. También se realizaron ensayos mecánicos buscando relaciones cuantitativas fiables entre resultados a compresión de dos tipos de probetas diferentes para obtener la diferencia que surge por la forma y entre dos formas diferentes de trabajo, a compresión o a flexotracción. Además se realizaron ensayos de goteo y sobre la influencia del clima en las muestras. (Díaz-Romeral, Guinea y Rohmer 1986, 5-13)

Pocos meses después, en noviembre, publican un nuevo artículo sobre cómo manejar la tierra en distintas circunstancias, basándose en el trabajo del equipo que trabajó en Viviendas de muy bajo coste, que tuvo en cuenta la posible realización en zonas de riesgo sísmico. Como marco adoptan los resultados obtenidos conjuntamente por el Instituto de Ingeniería de México y el homólogo de la Universidad Católica de Perú, lo que permitía comparar la resistencia de elementos y de mamposterías de adobe para tratar de comprender las diferencias, no fundamentadas, que se observaron en las resistencias obtenidas para cada uno de los dos países.

Para completar el trabajo se analizaron defectos de diseño arquitectónico, frecuente situación de las citadas viviendas en zonas con terremotos habituales y problemas para aplicar las Normas que ya existen sobre materiales de bajo coste en países como Perú, Méjico o Turquía, que muchas veces no son aplicadas por la resistencia cultural a incorporarlas que ofrecen los moradores de las áreas afectadas por seísmos.

A partir de la mezcla de distintas tierras se verificaron los comportamientos basándose en muestreo obtenido con BTC comprimidos en BREPACK y distintos tipos de adobes a los que se realizaron luego varias comprobaciones:

- Comportamiento de los suelos (resistencia) en condiciones de laboratorio.
- Resistencia de adobes y bloques a flexotracción y compresión.
- Resistencia a compresión de probetas obtenidas por corte a partir de los adobes y bloques.
- Resistencia a compresión de los diferentes morteros de unión empleados.
- Resistencia a compresión vertical de muretes de esbeltez 3.
- Resistencia a compresión diagonal (resistencia a corte) de la mampostería.

Se realizaron probetas de 7 x 7 x 7 cm. y 4 x 4 x 16 cm. para comprobar la resistencia a la compresión y a la flexotracción según el procedimiento descrito en la norma DIN-18952, Hoja 2, rompiéndolas después de 28 días almacenadas en ambiente con 50-60% de humedad y 17grados C con posterior secado en estufa a 60 grados C, hasta peso constante. A los

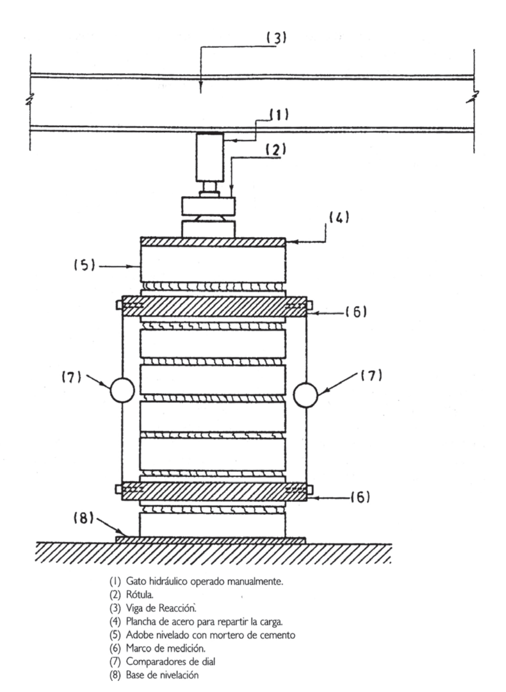


Figura 3
Compresión axial en pila de adobe Arquitectura de tierra

morteros de barro, idénticos a los de los muretes, se les añadió aproximadamente un 15% de arena, para evitar la fisuración y mejorar su manejo con la paleta. A esta composición, donde se cumplen las mismas directrices que en los adobes o bloques; también se añadió aproximadamente un 1 % (en peso) de paja de trigo trillada. Las juntas horizontales y verticales no exceden de 2 cm.

Los morteros de cemento-arena tienen una relación volumétrica de 1/7, utilizando arena gruesa. Las probetas se rompieron igualmente con 28 días y peso constante. La superficie superior se refrentó con 2 cm de mortero. Para aumentar la adhesión de los morteros a los adobes o a los bloques, se limpió el polvo y se humedecieron antes de realizar las probetas.

Comportamiento de adobes y bloques: Como era de esperar destaca el resultado de los elementos realizados en máquina Brepak, 9,50 kp/cm^2 a flexotracción y 22,7 kp/cm^2 a compresión. Se sometieron a ensayos las probetas cúbicas obtenidas por corte de las piezas, que se rompieron a compresión tras casi un mes de curado y se constató el comportamiento del material situado en las juntas. Se realizaron pruebas sobre muretes de adobe, preparados según normativa peruana observando que:

– A compresión se observa una ligera mejoría en las muestras con juntas de mortero de cemento.
– A compresión diagonal la mayoría de las roturas se producen más por deslizamiento que por corte aunque aparecen algunos bloques rotos. En cualquier caso la rotura es frágil.

Los valores de las tensiones de rotura a compresión diagonal se han obtenido a partir de la fórmula que figura en la norma peruana en la que ft = (esfuerzo último del murete de ensayo) = P/2ca. En donde P es la carga de rotura y c y a son las dimensiones de la probeta de ensayo.

Las conclusiones de los autores, recogidas a continuación literalmente, se basan en investigaciones previas realizadas por Otazzi y Vargas, Mª Jesús Guinea y el ININVI peruana.

Estrada y Rohmer, tras realizar sus pruebas, consideran que:

1. No se aprecian diferencias importantes en el comportamiento resistente de los diversos adobes, aunque sí es considerable si se comparan con los bloques de máquina.
2. Las juntas de mortero de cemento, para todos los tipos de adobe, suponen incrementos del orden del 10%, en los ensayos de probetas a compresión.
3. No se aprecian diferencias importantes entre los diversos adobes y bloques para un mismo tipo de junta. Pero el comportamiento a compresión diagonal mejora notablemente para el caso de juntas con mortero de cemento, con incrementos de más del 100%, respecto a las realizadas con material de unión elaborado con tierra.
4. Como elementos aislados, el que presenta un comportamiento más uniforme y da las mayores prestaciones en todos los ensayos efectuados es el bloque de máquina Brepak.
5. En el trabajo anteriormente citado, referido a las investigaciones de las Universidades de México y Perú, no se recomienda el ensayo de medios elementos a compresión, por considerar que los resultados se afectan considerablemente por el excesivo confinamiento lateral producido por las placas de carga. En este trabajo se ha obviado este punto, debido a las diferentes medidas de las piezas españolas frente a las mexicanas y peruanas, que los hacen más esbeltos (24 X 16 X 4 y 40 X 20 X 8) resultando el medio elemento de este trabajo muy próximo a las probetas cúbicas recomendadas por peruanos y mexicanos.

En cuanto a los resultados obtenidos comparativamente con los aportados por mejicanos y peruanos, se desprenden las siguientes conclusiones:

a. Las resistencias a compresión de los elementos realizados manualmente son muy semejantes en los tres países, algo mayores los de este trabajo.
b. Las resistencias de tracción por flexión conseguidas, son bastante parecidas a las obtenidas en Perú y muy superiores a las mexicanas.
c. Mientras que en los valores de México la resistencia de los elementos es
d. sensiblemente igual a la de las mamposterías a compresión, Perú consigue
e. esta igualdad para probetas con un año de edad, siendo la relación de resistencias en el momen-

to del ensayo del orden del 40%, relación muy próxima a la obtenida en los ensayos de este trabajo.

f. En todos los casos la resistencia al corte no depende sustancialmente de las
g. dimensiones del bloque.
h. La resistencia al corte depende fundamentalmente del grado de monolitismo conseguido por el material de junta. (Téngase presente que ni Perú ni México utilizan mortero de cemento y arena en sus ensayos).
i. En resumen, los resultados conseguidos se aproximan a los de México al utilizar juntas de mortero de cemento y arena y presentan valores intermedios entre los dos trabajos comparados, cuando se utilizan juntas de mortero de tierra. (Estrada y Rohmer 1986, 51-57)

Más investigación y encuentros internacionales

Simultáneamente a la realización de ensayos y comprobaciones de laboratorio en Navapalos seguían realizando sus Encuentros Internacionales. La Diputación de Soria editó la documentación originada por la celebración del *II Encuentro de Trabajo sobre La tierra como material de construcción*, en la que se recogen, entre otros muchos asuntos, los ensayos sobre comportamiento, desarrollo, caracterización, control, etc, del material así como de la elaboración de piezas específicas para zonas de seísmos, bloques estabilizados y prensados, fabricación de bovedillas aligeradas y recomendaciones para obtener la perfecta adhesión del barro a las maderas de los entramados, por cierto muy similares a los consejos expuestos por Juan de Villanueva en uno de los textos más célebres del repertorio constructivo español.

En la reunión de 1987, que había sido declarado Año de las personas sin hogar, se presentaron sugerencias para erradicar este problema. Además Rohmer recopiló técnicas tradicionales en el área madrileña, donde abunda el adobe, solo o en entramados, el uso de la tapia calicostrada o de brencas y las rafas, de ladrillo, mampostería o adobes, armando muros y esquinales. Se consignaron las lesiones más habituales en todas estas modalidades de emplear la tierra aportando soluciones como la de revestimientos adecuados para las mismas. (Rohmer 1990, 185-201)

El encuentro de 1992," por ser el año en el que se conmemoraba el V Centenario del encuentro con América, trató sobre las construcciones realizadas con tierra tanto en Iberoamérica como en España. Por ello muchos de quienes acudieron a presentar sus

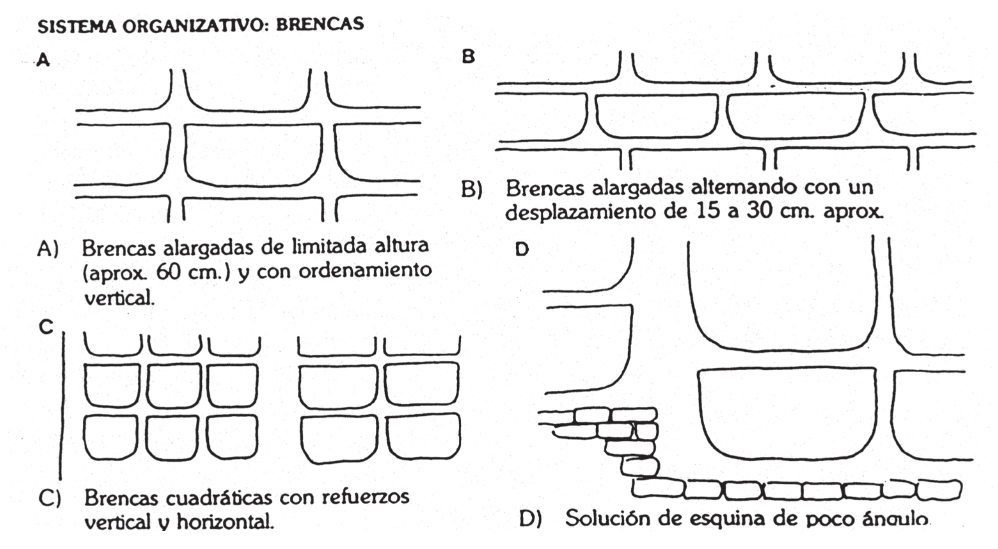


Figura 4
Tapias de brencas. Navapalos 1987 (Rohmer 1990, 188)

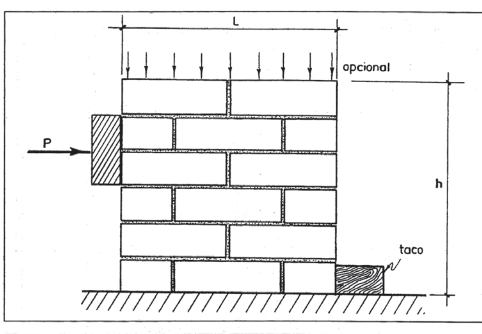
ponencias eran conocidos investigadores en este asunto, arquitectos e ingenieros venidos de Argentina, Bolivia, Brasil, Costa Rica, Cuba, Chile, El Salvador, Guatemala, México, Nicaragua, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. Además estaban también representantes de Israel y europeos, de Portugal Italia, Francia y Alemania. Y, obviamente, varios expertos españoles. El ingeniero peruano Gianfranco Otazzi trató la normalización de ensayos para la albañilería de adobe.

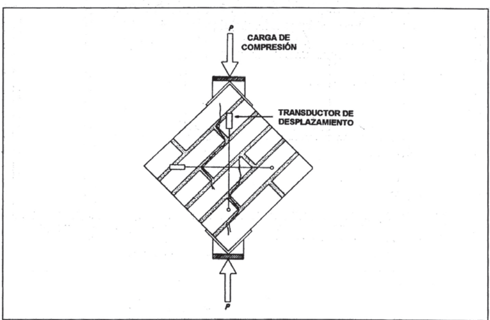
La conferencia que pronunció entonces Rohmer, *Interacción: Entre la investigación y la cooperación internacional* deja ver el marcado interés que tenía en promover viviendas allí donde se necesitaran, sea por escasez de las mismas o por la destrucción masiva originada tras desastres naturales.

La casa pinariega y el eco-centro Navapalos

En el encuentro de 1993, que publicó el Ministerio de Fomento en 1998 como *Arquitectura de tierra*, Rohmer abordó la intervención en la Casa Pinariega de Navapalos, iniciada en 1990

El edificio, cuya planta medía 15x15 metros, estaba tan deteriorado que se pensó en derribarlo pero la singularidad de la construcción y su gran chimenea de ramas tejidas aconsejaron conservarlo de modo riguroso. Para ello, tras contar con el trabajo de fotogrametría que realizó el Ministerio de Cultura, se dibujó, midió y comprobó cada forma, ensamble, sección y estado de las maderas que componían el entramado de enebro, cuya situación obligó realizar bastantes réplicas exactas, así como a consignar la disposición, dimensiones y composición de los adobes, muchos de los cuales también debieron ser sustituidos por otros nuevos, de los mismos formatos: 40x20x15 y 24x12x10, los más usados, elaborados con barro del lugar y paja de centeno cortada con trillo. La chimenea, derrumbada por un vendaval antes





Figuras 5 y 6
Ensayo de corte en muretes y de compresión diagonal



Figura 7
Casa Pinariega, estado previo



Figura 8
Casa Pinariega recuperada (foto: Juana Font)

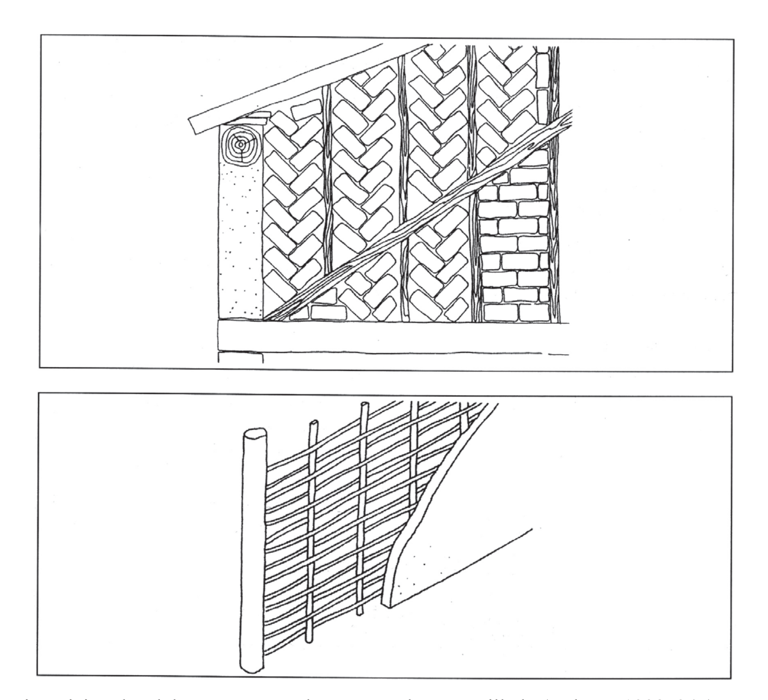
de ser totalmente consolidada, hubo de ser recuperada artesanalmente, así como los hornos que completan la casa. (Romer 1998,167-175)

La recuperación incluyó la restauración de varias viviendas para alojamiento de profesores y estudiantes, la rehabilitación de lagares, atalaya, palomares, Ayuntamiento, Escuelas, edificios para Laboratorio o talleres y de la pequeña iglesia, para ser usada como sala de conferencias y exposiciones También la creación de nuevos espacios al aire libre, el comedor de verano o la ribera del río. Por la buena factura de las intervenciones y las posibilidades de potenciar el desarrollo sostenible y la recuperación de habitantes para el pueblo, en 1998 Naciones Unidas concedió a este Proyecto ECO-Centro Navapalos uno de los Premios *Best* del apartado *Contra la Despoblación y por el Desarrollo de Energías. Sostenibles*

Figuran también en este libro de1998 las investigaciones que Rohmer expuso en el Encuentro de 1986 sobre el uso de la tierra en la región de Navapalos. Reseña las construcciones más conocidas, como palomares o bodegas y recuerda el modo de calentar las viviendas mediante la secular presencia de la gloria, habitual en esta zona tan fría. Consigna la manera de obtener adobes y cómo emplearlos, solos o dispuestos en los entramados. También la posibilidad de realizar muros de tierra encofrada y compactada para levantar tapias calicostradas e incluso cita un tipo, muy escaso en Castilla, el de tapia valenciana. Además recoge la variedad de muros con rafas cerámicas y no olvida otros más ligeros como tapialetes y ulanchos o emparrillados y zarzos. (Rohmer 1986, 233-253)

Además constan en el tomo de 1999 las investigaciones realizadas en 1997 sobre los muros de tapia, en el que colaboró la ETSA de Madrid, dentro del Plan I+D de la CICyT. (Rohmer y Borges 1999.".127-165). Aunque la coordinación científica la desempeñó Rohmer, el responsable del proyecto fue el arquitecto venezolano Juan Borges quien recuerda:

> En cuanto a la experiencia de los muretes de Tapia realizados en Navapalos, Rohmer me invitó ... a participar durante dos meses dentro del Proyecto de Investigación para el mejoramiento de muros de Tapia. … Se propuso el análisis y fabricación de 48 mezclas de tierra estabilizada con 16 materiales diferentes, es decir 3 mezclas con dosificaciones diferentes por cada material … se realiza-



Figuras 9 y 10. Disposición de adobes en entramados y muro de emparrillado (Rohmer 1998, 245)

> ron probetas para ensayos de compresión, congelación-deshielo, retracción lineal y baldosas con las mismas mezclas a fin de realizar ensayos de permeabilidad (goteo) y resistencia a los agentes atmosféricos (intemperismo). … Se realizaron 20 propuestas de muros de tapia de 1 m^2 de superficie curva y 50 cm de espesor y dos muros más con tierra, como muestra patrón, en dos círculos de 5 m de diámetro (11 muros en cada círculo), con la finalidad de realizar ensayos de erosión hídrica. Ésta quizá ha sido la experiencia de investigación del material tierra con mas proyección realizada por Rohmer en Navapalos. Otros arquitectos encontraron en Navapalos y en Hardy el estímulo para seguir … el empleo de la tierra como material de construcción tanto en la docencia, como en la investigación, la obra nueva y la restauración. Son indudables … la influencia y el estimulo que tuvo Rohmer y el proyecto Navapalos para muchos arquitectos latinoamericanos.
>
> Realizó muchas cosas . en la planificación del pueblo, la experimentación y el empleo de energías alternas cuando apenas se comenzaban a hablar de ellas; restauración, … reconstrucción y mejoras de las viviendas ... su aspecto etnográfico y conceptual … y las técnicas de construcción con tierra en Castilla y León; su obra no se limitó a divulgar y rescatar el empleo de la tierra . en España ... sino a llevar esos objetivos más allá de sus fronteras en proyectos de cooperación internacional. (Borges 2019, Comunicación personal)

El año 2004 el Ministerio de Cultura publicó *Estudio de paisaje cultural de Navapalos* en el que se analizan las características de la provincia, patrimonio arquitectónico, entorno cultural, levantamientos topográficos y usos del suelo existentes en este municipio, su medio ambiente, la posibilidad de implantar agricultura biológica y el modo de incentivar el empleo de la tierra en la nueva arquitectura.

Cooperación internacional

El prestigio de Rohmer como investigador y su probada capacidad de proporcionar soluciones se manifiestan con las aportaciones que realiza, en momentos de crisis, ayudado por excelentes colaboradores.

Algunos de ellos son el realizado en1994, cuando diseña infraestructuras y edificios para educación en Puerto Nariño, Colombia. En 1995 el destino es Tucuarembo, en Uruguay, con proyectos de viviendas, centro social y carpintería. En 1977 se ocupa de trazar los baños previstos para 5.000 personas en Potosí, Bolivia.

Poblado Iberoterra: Reconocido por Naciones Unidas en 2001 con la calificación de *Best*, fue proyectado para proporcionar vivienda a los damnificados por el terremoto que asoló en 1994 la cuenca alta del Páez. Para la construcción de las viviendas se siguió el espíritu que regía en Navapalos, formar primero a quienes hubieran de reconstruir con las técnicas tradicionales de la zona para mantener éstas, y así la fisonomía del lugar, capacitando a los artesanos que a fin de que pudieran luego ampliarlas, restaurarlas o realizarlas de nueva planta.

Se diseñaron viviendas de varios tipos realizadas con diferentes sistemas propios del lugar, como adobe, tapia, bahareque, guadua, etc. todas ellas proyectadas por distintos especialistas en cada técnica y realizadas, de modo que resultaran capaces de contrarrestar los movimientos producidos por unos seísmos muy comunes siguiendo criterios expuestos por los expertos en este campo, el español Miguel Herraiz y el peruano Gianfranco Otazzi.

Borges proyectó también, un Centro de Capacitación, lo primero que se levantó, realizado con tapia. «En Popayan realicé, junto con Rohmer y Hugo Pereira el anteproyecto de Urbanismo para las viviendas … La propuesta inicial era que se realizarían 10 viviendas de cada uno de los 5 proyectos encargados a los profesionales invitados entre los que nos encontrábamos tres miembros de la Red Habiterra invitados por Rohmer: Jose Luis Gándara de Guatemala ,

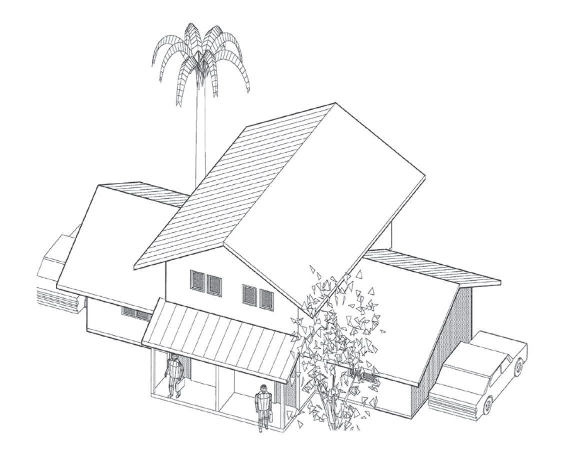


Figura 11
Vivienda en Popayán, proyecto de Hugo Pereira, Comunicación personal del autor

Hugo Pereira por Chile y yo por Venezuela con otros dos arquitectos Clara Amanda y Lucy Bastidor por Colombia. Desarrollé mi propuesta como una vivienda de dos plantas utilizando tapia en planta baja y paneles semi-prefabricados de bahareque en planta alta» (Borges 2019 Comunicación personal)

Hugo Pereira diseñó las viviendas pareadas que se alzarían con tierra aligerada, cuya superficie era de 60 m^2, con dos plantas formadas por una estancia cocina-estar-comedor, un par de dormitorios y una aseo.

Además se concibieron un taller de carpintería, un comedor social, servicios higiénicos y almacenes con secadero de guadua, muy utilizado para realizar edificios en zonas de terremotos.

Poblado de Telpaneca: En Nicaragua, Reconocido por Naciones Unidas con valoración de *Good*, fue proyectado para sustituir las construcciones del lugar, arrasadas por el huracán Mitch en 1998, con técnicas y materiales del lugar, como adobe y ladrillo cuarterón. Serían realizadas mediante el trabajo comunitario, tan practicado en todas las culturas del mundo, que en el centro de Castilla y León se conoce como *huebra* y en Iberoamérica, según las zonas, se llama *mano vuelta, mita, tequio, minga, guelaguetza, aymi, minka, córima* o *mutirâ.*

Iniciadas en 2000 finalizando un año más tarde, tras impartir talleres de formación con los que capacitar para realizar 40 viviendas y otras tantas letrinas que beneficiarían a 944 personas, quienes además vieron recuperados sus caminos, cultivos y vida social.

Reflexión final y agradecimientos

Ante el interés que suscita hoy la construcción de tierra deberíamos recordar con gratitud, admiración y afecto las aportaciones realizadas en España por Erhard Romer, pionero en el asunto.

Agradezco sinceramente la ayuda que me han prestado para recopilar estos datos Ana Vera, Dulce Mª Guillén, Juan Borges, Hugo Pereira, Miguel Herraiz, Luis D. Viana y José María Sastre, todos ellos queridos amigos de nuestro protagonista cuya trayectoria logró recuperar para nuestra patria el regreso al empleo de la tierra.

Lista de referencias

Álvarez Alonso, M.; Guinea, Mª J. y Díaz-Romeral, J. 1984. Construcciones a base de tierra. *Informes de la Construcción*, 36(365): 47-51.

Auger, R. y Fontaine, L. 2009, *Bâtir en terre*, Paris: Éditions Belin.

Carazas, W. 2017. Presentación del libro *Test Carazas*, Proterra, www.redproterra.org, Boletín 53-54: 6-8.

Díaz-Romeral J.; Guinea, Mª J. y Rohmer, E. 1986. Primeros resultados del trabajo de investigación sobre la tierra como material de construcción, en el IETCC. *Informes de la construcción* 33(377): 5-13.

Estrada, E. y Rohmer, E. 1986 Comprobaciones resistentes de elementos constructivos de tierra. *Informes de la Construcción* 38(385): 51-57.

González Sánchez, B. 2016 *Protocolo para obtención de resistencia a compresión en probetas de tierra, en laboratorio*, Barcelona: Máster Universitario de Ingeniería de la Edificación, Escola Politècnica Superior d´Edificació de Barcelona, 9.

Rohmer, E. 1988. «La tierra, material de construcción. Proyecto Navapalos». En *Navapalos 85*, Madrid: Interacción pp. 246-256.

Rohmer. E, 1990. «Las construcciones en tierra: adobes y tapiales en la Comunidad de Madrid». En *Navapalos 87*. Madrid: Ministerio de Agricultura, pp. 233-253.

Rohmer, E. 1998. «Castilla y León: apuntes sobre construcciones en tierra». En *Arquitectura de tierra*. Madrid: Ministerio de Fomento, pp. 185-201.

Rohmer, E. 1998. «Reconstrucción y restauración de la casa Pinariega en el Centro Navapalos». En *Arquitectura de tierra*. Madrid: Ministerio de Fomento, pp. 167-175.

Rohmer, E. y Borges, J. 1998. «Investigación para el mejoramiento de los muros de tapia». En *Arquitectura de tierra* Madrid*:* Ministerio de Fomento, pp.127-165.

The mechanics of *opus reticulatum: Reticulata structura, qua frequentissime Romaestruunt, rimis opportuna est!*

Roberta Fonti
Paolo Gardelli

Reasons for the choice of an arrangement of small stones at 45 degrees are still unknown. However, over the centuries, contrasting explanationshave alternated, converging, in modern times, in the following two main justifications: (i) aesthetics of its facing (Adam [1994] 2010) (figure 1), and (ii) astructural reliabilitydue toa special bonding between facings and the inner core (Giuffré [1991] 1999).

Regarding the latter,Giuffré (1991)observed thatthe mortar in the facings and within the inner core harden and cureat different rates on account of a dissimilarity in the ratioof aggregate to mortar between the inside (*ceamenta*) and the outside (*cubiliae*). Here, *cubilia* and bricks are expected to limit vertical concretion of mortar by physically breaking into the concrete mass[1] –thus, creating a strong bond between the ingredients.

It is crucial to note that Vitruvius (Krohn 1912), in Roman times, described this type of building technique as vulnerable and weak on account of the unstable configuration of its bed joints (45 degrees) and poor bonding of its constitutive ingredients[2]. On the other hand, Pliny the elder reported that «*Reticulata structura, qua frequentissime Romaestruunt, rimis opportuna est*» (Plinii 1844, 1347).

This well-known dichotomy was resolved in practice. This shows an extensive use of *opus reticulatum*. Many examples can be found in central and central-southern Italy (Lugli 1957, Lancaster, 2009), where, numerous surviving buildings ranging from rural Villas to Monumental constructionsthat have stood the test of time.

On the reading of old treatises: *Vitruvius, Perrault* and *Galiani*

By analyzing the text of Vitruvius, it is apparent how two different building techniques were considered as typical for Roman standards in building construction, and in common use during his life. These are: *Opus incertum* and *Opus reticulatum*. Vitruvius compared the two techniques and came to a negative judgment of the *reticulatum* as opposed to the *incertum* which he considered *Imbricatus*[3].

In this regard, it is interesting to follow the debate around the inexact use of the word *imbricata* in codes, which led over time[4] to a misinterpretation of this passage from Vitruvius. In particular, it was the word *Incerta* was replaced with *Inserta* (Perrault1684[5]) and *imbricate* with *implicata* (Galiani 1790),and identical grammatical forms were translated with contrasting meanings (Cesariani 1521; Caporali 1536).

According to Galiani, Perrault altered the word *Incerta* in *Inserta* when used in relation to the term *imbricata*. This aimed at providing readers with an idea of masonry that was similar to brickwork, i.e. *Inserta Imbricata*[6], suggesting alternating courses of headers and stretchers cut into small pieces and probably ashlar dressed. This is mainly due to the fact that the word *Imbricata* was derived from the Latin term *Imbrices*. Imbrices are clay elements commonly identified with tiles or hollow ceramic components.

Galiani drew attention to this mistaken interpretation by Perrault noting the contrasting aesthetic of

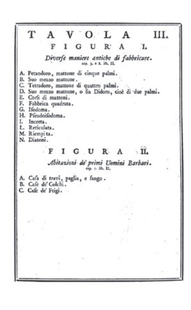


TAVOLA III.

FIGURA I.

Diverse maniere antiche di fabbricare.
cap. 3. e 8. lib. II.

A. Petandoro, mattone di cinque palmi.
B. Suo mezzo mattone.
C. Tetradoro, mattone di quattro palmi.
D. Suo mezzo mattone, o sia Didoro, cioè di due palmi.
E. Corsi di mattoni.
F. Fabbrica quadrata.
G. Isodoma.
H. Pseudoisodoma.
I. Incerta.
L. Reticulata.
M. Riempita.
N. Diatoni.

FIGURA II.

Abitazioni de' primi Uomini Barbari.
cap. 1. lib. II.

A. Casa di travi, paglia, e fango.
B. Case de' Colchi.
C. Case de' Frigi.

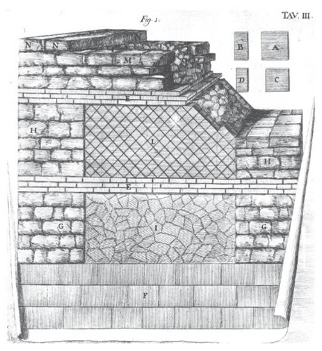


Figure 1
Different Type of Opuses(Galiani 1790,vol. 2, Tav.III)

the masonry he described which would correspond to isodoma or pseudo-isodoma masonry [7] rather than an irregular bond.

Caporali thought that *Inserta Imbricata* referred to terracotta tubes[8] laid in a masonry-like pattern –thus being given this name. Cesariani, on the other hand, believed that tiles were set at specific points to regularize the masonry to achieve uniform courses.

It is crucial to observe that this idea of a sequence of clay elements aligned to a horizontal line was pursued on account of the Latin word *Imbricatus* which describes a pattern of overlapping tiles having a curved profile and progressing along a line.

The *opus* described by Vitruvius –in comparison with the *reticulatum*– is intended to be neither made out of tiles norto have regular courses which, in fact, he described as a pattern of very small stones. However, this observation cannot exclude the possible use of reinforcing brick courses.

In fact, it might also be that Vitruvius was providing us with a comparison between the simplest type of *opus reticulatum* and its mixed form, usually referred to in the literature as *opus mixtum*. As reported by Lugli(1957) the term was invented by moderns[9], and it would thereforenot be surprising if no specific term is used by Vitruvius in his code to differentiate this type of masonry from others.

In the past, the term *opus mixtum* was often used to describe any Roman building typology that cannot be fitted into the standard categories. Nowadays, it refers strictly to reticulate construction –rarely *opus incertum*– which are box-enclosed into patterns of bricks functioning as quoins and/or regulatory courses (figure 1).

In this light, it is possible that the translation provided by Cesariani was mostly exact. While, Perrault and Galiani were both altering at least one word in order to make the text more intelligible to readers. However, Perrault clearly understood the underlying meaning of this passage of Vitruvius, which aimed at providing an idea of interlocking masonry which failed to comply with the described typologies of masonry. Galiani, however, did not succeed in identifying the significance of the word *Imbricata* as signifying a mechanical interlock, and being responsible for the supposed superior performance of *opus incertum* over the *reticulatum*. In particular, Galiani exchanged the word *Imbricata* with *Implicata*[10] implying that the *opus incertum* incorporates stones set *alla confusa*[11] –leading to its unattractive appearance[12].

However, we do not know whether Vitruvius is here referring to the basic form of *opus incertum* or to the mixed type. As mentioned above, the term *opus mixtum* was conceived in modern times. In this paper, we therefore propose translating the word *Incerta* rather than *Inserta*, and *Imbricata* rather than *Implicata* deriving the word *Imbricata* from the Latin term *Imbricatus* –rather than *Imbrices*. In so doing, we aimed atsuggesting a mechanical interlock between irregularities of small sized stones[13] having similitude with the one existing between overlapping tiles as well as recalling the practice of setting regulatory courses to reinforce walls.

We would here complement Vitruvius in observing that this mechanical interlock will, as a general rule, be as strong as stones that are set with corresponding faces which are irregular and shapeless (Fonti et al. 2017).

The mechanics of *Opus reticulatum* in the words of Choisy, Lugli and Giuffré

Vitruvius observed that reticula façades can fail on account of some defects in execution which lead to a lack of bonding between wythes[14] and that this is common for this type of building technique.

If this is accurate, why did Romans progress from a rather solid and structurally safe system such as *opus incentum*, or its reinforced form, to an *opus*which often had defects?

The majority of authors seem to agree that this was mainly on aesthetic grounds as well as reduced

construction time[15] and costs[16]. The latter was especially significant for Romans because of their need for standardization and fast and simplified building procedures[17]. In fact, according to Choisy (1873) the use of this building technique led to a new technique of masonry construction[18]. It enabled the use of concrete having little compaction which is suitable for construction making limited use of formwork[19]. Formwork was replaced by the external withes in the various standard opuses. Depending on the strength of the wythes, compaction of the inner core was alternately applied. Due to the increasingly reduced thickness of the external wythes, compaction was often impracticable[20] as they became unable to withstand the out-of-plane horizontal actions produced by compaction processes.

Choisy informed us that, due to this issue, the inner cores of Roman masonry often showed hollow regions and unfilled vertical joints[21]. The problem was exacerbated by unequal distribution of sand, gravels and mortar which were neither pre-mixed in advance, and poured between wythes, nor laid and progressively compacted in situ, which was normal for the construction of foundations. To find a solution for this common type of failure, Choisy observed that the Romans regularly piled up sand, gravels and mortar in regular sequences of courses using a shovel[22] in order to increase strength to walls.

Despite this, according to Lugli, walls generally had a limited resistance to compressive vertical loads. This is because of the strength of *opus reticulatum* arises from the cohesive properties of its mortar. Lugli is not explicit about the issue of poor compaction. Nevertheless, this seems apparent to us. He also observed that Romans limited the height of reticulate facades to avoid constructions that were too slender.[23]

However, Lugli considers the stones (*cubilia*) of the reticulate façades pointing towards the inner core to contribute significantly to increasing stability[24] and load-bearing capacity.

As is well known, *cubilia* are stones perfectly dressed to form square-based pyramids, with the point penetrating into the wall. In adopting this technique, masons were bridging the gap which existed between the *opus incertum – imbricate* - and the unreinforced *opus reticulatum* providing the *reticulatum* with a mechanical interlock between the stones and the inner core.

Adam ([1994] 2010) suggested that «the masons noticed that the cementation brought about by good mortar made the arrangement of the stones irrelevant» (Adam [1994] 2010, 131).

On this point, the authors partially disagree; if this were true, stones would have been easily aligned with their edges horizontal and vertical to avoid the need for the more complex orientation of stones, which is as typical for *opus reticulatum*. Of course, the aesthetic argument also here applies.

In this regard, it is worth observing that such walls were often coated with fine pictorial surfaces and stucco. Because of this, some authors have supposed that reticulate surfaces were protected using rendering on the inside and external surfaces were left exposed[25]. We observed in Villa Arianna[26], amongst many other cases, that apparently reticulate façades were coated on both faces using very fine decorative pictorial surfaces (figure 2).

One can argue that decorative coatings were uniformly applied to mask a lack of homogeneity of the masonry placed at different times during the various construction phases of a Villa[27].While this might be a useful observation, it does not provide us with reasons for putting so much effort into building with *opus reticulatum*[28] given its supposedly structural weakness and beauty hidden beneath decorative rendering[29].

The authors believe that using wythes with such a special arrangement gives a clear technical advantage, over and above any aesthetic qualities.

To resolve this line of enquiry, the texts of Choisy, Lugli, Giuffré (1993) and Ceradini (1992) are analysed and compared.

Choisyin particular noted that external wythes were unable to stand upright without the aid of the inner core. This opens up the idea of an interdependence between wythes. Despite this, Choisy referred to the external wythesas a facing, merely use-




Figura 2
Reticulate façade protected using rendering at Villa Arianna (Stabiae) – outdoor face of walls

ful to protect the inner core from being left exposed. However, he explicitly refers here to *opus testaceum*[30] which he considered slightly superior to the *reticulatum*.

From *opus quasi-reticulatum* to *mixtum*

It is fundamental to the purpose of this paper to observe that while ancients were commonly addressing *opus reticulatum* as a single building type, four different subcategories can be identified which show increasing degrees of structural solidity: (i) *Opus quasi-reticulatum*; (ii) *Opus reticulatum*; (iii) *Opus reticulatum* having quoins and (iv) *Opus reticulatum* having both quoins and regulatory courses made with bricks.

In agreement with Lugli, Giuffré and Ceradini, we believe that regulatory courses were laid with the aim of reinforcing the opus with regard to out-of-plane actions[31]. Lugli addressed this issue especially for the *opus reticulatum* focusing on possible overturning of the facings on account of large vertical loads applied on top. Here, in contrast to the monolithic column of Coulomb which is failing along the tangent of least resistance to cracking[32] (figure 3,a), walls are supposed to act as multi-wythe masonry – thus, behaving as three different walls having different ratios of slenderness with regard to out-of-plane actions. Likewise, Choisy illustrates a similar mechanism of collapse which, in ancient times, persuaded the Romans to use formworks (figure 3,b).

However, Lugli does not study the mechanical behaviour of masonry walls. Rather, he provides us with interesting observations based on his deep knowledge of Roman building techniques. Giuffré and Ceradini, are the authors who address mechanics.

They start from the assumption that masonry members are assumed to act as rigid[33] or semi-rigid bodies, demonstrating that the out-of-plane response behaviour of a wall is mainly governed by geometry[34] (Heyman 1966, 2:249–279). Therefore, the height, thickness, and number of the different wythes are the parameters that must be considered to assess the out-of-plane vulnerability of an historical masonry wall. For this reason, there is a limiting height which defines the threshold value above and below which a wall will start to either slide or overturn –for a given externally-applied, out-of-plane horizontal force. It is apparent how the Romans strictly limited the height of their walls by introducing courses in the reticulate façades– thus, matching the above mentioned geometrical parameters[35].

The *opus quasi-reticulatum* and *Villa Arianna at Stabiae*

Direct observation of out-of-plane damage to Roman masonry has been conducted at Villa Arianna. Walls are found to have been affected by different kinds of

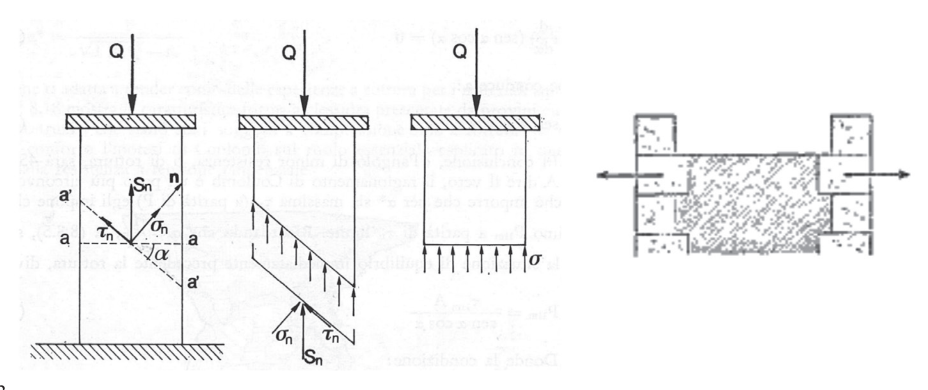


Figura 3
a) monolithic column which is failing along the tangent of least resistance to cracking (Benvenuto 1981, 303; b) facing failing out-of-plane on account of exceedingly vertical compressive stresses (Choisy 1873, 20)

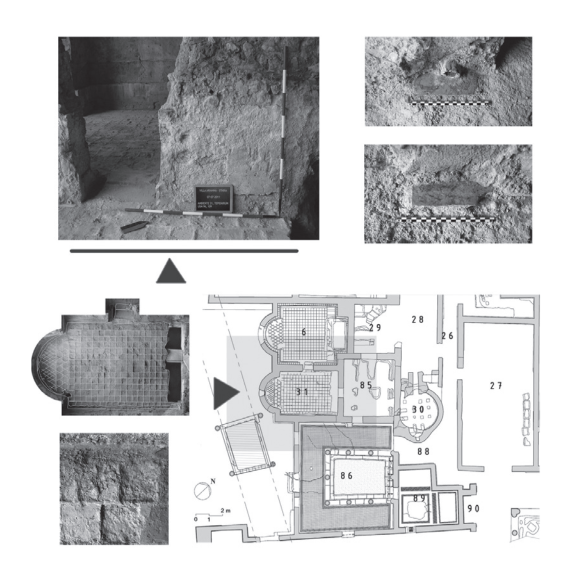


Figure 4
Villa Arianna walls in opus quasi-reticulatum lacking one external wythe and being covered by rendering. This is applied directly upon the inner core

damage, partial reconstruction and works of addition which most probably were a consequence of the Campania earthquake in 62 AD[36]. Although there is no common understanding on the exact date of this earthquake, it is possible that more than one seismic event shocked Campania region (Harry 1984, 53: 266-269) in a relatively short period of time, anticipating the eruptionof Vesuvius in 79 AD.

In particular, during the last excavation campaign (Gardelli et al. 2011, 209–216), several key observations were made regarding the historical damage that had occurred to the masonry structures of the baths of the villa. Here, walls which are positioned in the same row, were recognized as lacking one of the external wythes (figure 4).Furthermore, parallel walls located in a different row show similar damage resulting, at times, in full reconstruction of sections of masonry displaying different building techniques within the same façade.

By analysing the structure of the *tepidarium* (room 31), it was possible to observe an integration of the original floor in historic times on the NW side of the opus sectile floor.The work of addition runs alongside the missing wythes on the front of the wall (Gardelli et al. 2016, 439-48). Here, an unusual layering of the rendering can be recognized which was applied directly onto the inner core of the walls that had been left exposed after the earthquake. On the rear face of the wall an opus quasi-*reticulatum* was used. It is, therefore, apparent that originally,the walls were not lacking external wythes as these are necessary to construct walls. This observation allowed us to reasonably consider this to be post-earthquake historical damage.

This discovery confirms both the observations of Lugli and Giuffré as no regulatory courses were executed to reinforce walls, and *quasi-reticulatum* façades include relatively small sizes for the part of the *cubilia* which was meant to interlock within the concrete mass.

A further observation should be added here regarding the use of the word *quasi-reticulatum*. As reported by Lancaster (2009), this term is similar to *opus mixtum* being of modern origin. Wetherefore need to be cautious when applying this term. As shown in Figure 7, *quasi-reticulatum* referrs to a type of facing showing a precise rhomboid shape,and is clearly differentiated from both the *opus incertum* and *reticulatum*. Examples of all three different types are found within the boundaries of this Villa.

While the observations noted by Lancaster on the *opus reticulatum* are significant, technological aspects of Roman building techniques are beyond the purpose of this paper. Therefore, no observations on the history of building technology have been pursued unless strictly related to the structural aspects.

Giuffré and Ceradini also theorized that quoins contribute to the in-plane stability of walls – resisting horizontal actions while tightening the masonry in between. In the case of *opus reticulatum*, those are deemed to counteract the lateral forces generated by the *cubilia*. In fact, regulatory horizontal courses also redistribute vertical loads along the length of a wall. This load acting on stones with an oblique setting will redistribute forces laterally; therefore, the use of solid quoins, along with horizontal courses to enclose *cubilia* into a box-blocked scheme. Quoins are also crucial to resisting in-plane actions generated by earthquakes.

A reason for arranging stones at an oblique angle

Based on established theoriesthe previous discussion has addressed the reasons why reticulate structures were structurally reliable. However, it is still unclear why the stones are set at an oblique angle.

Manieri Elia (2003 [20]) thought this setting to be suitable avoid defectsin execution due to ageing of the exceedingly layers of mortar[37].

The authors consider that the opus of the facing has the double function of both stiffening the front face against out-of-plane overturning, and redirecting inclined loadsand achieving equilibrium by virtue of their inclined bed joints.

Analysis of studies conducted by Giuffré on a different matter has revealed material information to support our theories. In particular, he investigated the distribution and transmission of inclined vertical loads and applied at specific points on top of a wall built in *opus quadratum*. He demonstrated that by changing the dimensions of stones and reducing the surface area of contact between them, the equilibrium at any point of the block will be possible only if the direction of the reaction on each element is within the geometrical limits of its base, and that the inclination of this reaction is less than the one arising from friction[38](figure 5,a).It is apparent to the authors that this case also applies to a wall loaded in-plane by the thrust of an arch.

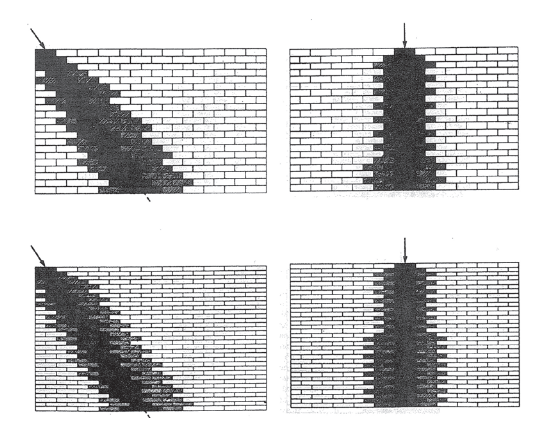


Figure 5
Wall of opus quadratum vertically loaded by a vertical dead load a) inclined; b) orthogonal (Giuffré [1991] 1999)

Giuffré also analysed and compared the case of a wall of *opus quadratum* vertically loaded by a concentrated dead load orthogonal to the top of the wall (figure5,b).

We here theorized that, by turning stones with an inclination suitable for responding to inclined loads arising from semi-circular arches,and orthogonally to those, the equilibrium is assured at any point of the wall making this much stronger to statical thrusts applied within itsprincipal plane.We believe this to be the reason for using patterns of stones laid within a diagonal grid pattern.The angle of 45 degrees can be easily associated with the direction of thrusts arising from semi-circular arches.

Conclusions

By analysing the different theories and observations devised by many authors over the centuries,the authors have proposed a new idea of structural behaviour of the *opus reticulatum*, which is a reasonable consequence of several studies on this topic. However, while we consider our conclusions to be significant, they are somewhat restricted to theoretical observations which need to be experimentally proven in the future.

Acknowledgments

We would like to thank Prof. Dr. Massimo Osanna, Director of Parco Archeologico di Pompei, and Dr. Francesco Muscolino, Director of the site of Stabia, for their willingness to grant permission for this research project.

Notes

1. «La realizzazione delle facce esterne mediante … i tufarelli troncopiramidali a base quadrata dell'opus reticulatum … per quanto costituiscano una inessenziale crosta esterna che oggi vediamo spesso distaccata o del tutto scomparsa, pure presentano, appena costruito il muro, una diversa tendenza al ritiro rispetto alla concrezione e la maggiore irregolarità di posa dei caementa produce nell'interno del muro un ritiro, in fase di presa e indurimento della malta, maggiore di quanto non avvenga nella manifattura più serrata delle facce

esterne. Il riempimento tende quindi a scorrere, concentrandosi verticalmente per effetto del ritiro, ed a distaccarsi dagli apparecchi esterni. La periodica interruzione della massa, collegando tramite i bipedali interno ed esterno del muro, riduce questo effetto dannoso» (Giuffré [1991] 1999, 23)
2. «Structurarum genera sunthaec: reticulatum quo nuncomnesutuntur, et antiquumquodincertumdicitur. Ex his venustiusestreticulatum, sedadrimasfaciendasideoparatum, quod in omnespartesdissolutahabetcubilia et coagmenta.» (Krohn 1912,41-2)
3. «Incerta vero caementa alia super alia sedentia inter seque imbricate non speciosamsedfirmioremquamreticulatapraestantstructuram.» (Krohn 1912,42)
4. L'ignoranza generale de' copisti, e molto più nel caso presente per la novità e scabrosità della materia ci hanno renduti scorrettissimi tutti i codici manoscritti, donde è necessariamente derivata l'imperfezione anche dell'edizioni; (Galiani 1790, IV)
5. Claudio Perrault, first edition, Paris, 1673. This was reviewed and published again in 1684. The first French translation of the Vitruvian Code was published by Giovanni Martin in 1547.
6. «Non vi è bisogno di mutare la lettura d'Incerta in Inserta, come vorrebbe il Perrault, ed altri, ... lo che può appropriarsi ...non alla Inserta Imbricata, o sia Intrecciata a similitudine della fabbrica di mattoni, la quale, oltre all'esser bella non può eseguirsi con pietre piccolissime, quali le richiede Vitruvio in questa Incerta.» (Galiani 1790, 37)
7. «Leggendosi Insertum, e relativamente Imbricata, verrebbe a indicare quella stessa specie di fabbriche, che poi chiama Isodoma, e Pseudoisodoma, ed avrebbe trascurata quella specie, che non può aver altro nome, che d'Incerta» (Galiani 1790, 37)
8. «Tegulae ad volutae veluti semi tuboli» (Capolali1536)
9. «In un secondo tempo si cominciarono a collocare filari di mattoni anche nel pieno del muro: dapprima alcuni filari isolati, poi fasce di 5 o 6 filari insieme, per l'altezza complessiva di un piede, le quali sostituiscono negli spigoli le ammorsature che si trovano al loro livello e si fondono direttamente col laterizio delle testate. Si forma così l'opus Mixtum, nome convenzionale dato dai topografi moderni a questo genere di muratura costituito da specchi, o riquadri, di opera reticolata – più raramente di opera incerta – di pietra, con legamenti o piani di posa in laterizio; in tal caso anche le testate sono in laterizio. A dire il vero, l'opus Mixtum è una qualsiasi muratura fatta di materiali diversi, ma per una tacita convenzione nei nostri studi, il nome è ormai limitato soltanto a questa.» (Lugli 1957, 515)
10. «Leggo con Blado Implicata, riuscendo sempre oscuro il senso, se si leggesse Imbricata» (Galiani 1790, 37)
11. Mixed up/ blended
12. «Che abbia a leggersi Incertum, e Insertum, e Implicata, non Imbricata può anche dedursi dalle stesse parole di Vitruvio, ove dice, che questa fabbrica non è bella d'aspetto, non speciosampreastantstructuram: lo che puó appropriarsi all'Incerta, che è confusa» (Galiani 1790, 37)
13. «utraqueautem ex minutissimissuntinstruenda» (Krohn 1912,42)
14. «uti materia ex calce et haren acre briter parietes satiati diutius contineantur. molli enimet rara potestate cumsint, exsiccantsugendo e materia sucum; cumautemsuperarit et abundarit copia calcis et harenae, paries plus habensumoris non cito fientevanidus, sed ab hiscontinetur. Simulautem umida potestas e materia per caementorumraritatemfueritexsuctacalxque ab harenadiscedat et dissolvatur, item caementa non possunt cum hisco haerere, sed in vetusta temp ariete sefficiunt ruinosos.» (Krohn 1912,42)
15. «The choice of an arrangement of small stones at 45 degrees might at first appear odd, but it is in fact in line with the economic and social evolution of the Roman world, an evolution which led to the creation and expansion of new techniques. It has already been noted that the use of an abundant supply of servile labour from the end of the third century BC had encouraged the aediles to go in for the rapid manufacture of construction materials that could easily be worked after a brief period of specialized training. This was to lead to an even more precise standardization, bringing about a simplification of the mason's job as mentioned before» (Adam [1994]2010, 131)
16. «Et, en effet, les Romains étaient trop sagement économes pour préférer à la maçonnerie que nous venons de definer l'usage du béton, qui, sans offrir plus de solidité, les eûtentraînés à un sur croît notable de dépense :leur maçonnerie ordinaire, nous l'avonsdit, ressembleassez au béton pour qu'on l'ait confondue avec lui, maiselle devait être beaucoup moinschère. Le mélange des pierres avec le mortier exige une certain dépense de main d'œuvre, et représente un travail pénible dont les Romains cherchèrent à s'affranchir» (Choisy 1873,19)
17. «Ce que les Romains se proposaient avant tout, c'était de réduire les frais et de render l'exécution rapide; ils redoutaient dans leurs chantiers la moindre complication, la moindre entrave, et évitaient par principe, je dirais presque par système, tout travail menant d'une façon indirecte au but qu'ils avaient envue.» (Choisy 1873, 20)
18. Walls moved from massive blocks made out of stones having, at times, an inner core (Emplecton) to concrete members supposedly protected by a stone facings.
19. «Si donc les parements ne présentent pas par euxmêmes une bonne stabilité, il faudra pour appliquer aux maçonneries qu'ils enveloppent une compression énergique, armer le mur d'une charpente de défense, d'une

sorte de blindage extérieur ou d'encaissement, et c'est là une complication dont les anciens cherchèrent à s'affranchir» (Choisy 1873,20-1)

20. «dans les murs ordinaires, les parements étaient trop minces et trop peu stables pour faire obstacle au renversement; aussi la compression ne jouait aucun rôle dans l'exécution de ces murs; il suffit de jeter un coup d'œil sur leurs parements pour comprendre qu'en effet le procédé par compression eût été impraticable. - Le revêtement d'un mur ordinaire en maçonnerie se compose de très-petits moellons cubiques arrangés de façon à dessiner par leurs joints des figures élégantes ou variées» (Choisy 1873,21)
21. «Une dernière remarque paraîtra peut-être plus décisive encore: les Romains, malgré le soin qu'ils y apportaient, ne sont pas toujours parvenus à remplir de mortier les joints verticaux qui séparent deux à deux les fragments de pierre formant une même assise;des fragments sont enveloppés de mortier d'une façon incomplète; autrement dit, la couche sur laquelle ils reposent et celle qui les recouvre n'ont pas pénétré assez profondément entre les joints verticaux pour les combler, et il reste à mi-hauteur du joint un vide, une soufflure.
De emblables lacunes ne se seraient jamais produites, si les matériaux avaient été mêlés d'avance et coulés d'un seul jet. — Ces lacunes sont rarement très-apparentes ; pourtant, elles ne sont point du tout des singularités ou des défauts exceptionnels» (Choisy 1873,18)
22. «au lieu d'opérer d'avance le mélange des matières, ils l'exécutaient sur place : les cailloux étaient peut-être moins bien unis au mortier, mais leur arrangement régulier rachetait en partie ce défaut» (Choisy 1873,19)
23. «Ma esisteva soprattutto una ragione tecnica che consigliava di evitare superfici troppo estese in reticolato: una parete lunga ed alta, costruita in questo modo, era facilmente suscettibile di frattura, qualora fosse stata gravata da un peso troppo considerevole. È noto come la spinta di una volta monolitica, come erano le volte romane nei primi tempi dell'impero, risulti prevalentemente verticale: ora il reticolato ha i piani di allettamento obliqui, sia pure limitatamente alla sola cortina, e tutta la sua resistenza è fondata sulla coesivitá della malta, mentre in una parete fatta con materiali disposti a piani orizzontali, i pericoli di frattura sono minori.» (Lugli 1957, 514)
24. «Se per caementa incerta dobbiamo ritenere il sistema da noi descritto innanzi, questa grande differenza di stabilità non esiste: la possibilità di frattura offerta dalle linee continue del reticolato è compensata pienamente dalla forma più allungata delle tessere piramidali, che si addentrano considerevolmente nel nucleo cementizio del muro» (Lugli 1957, 487-8)
25. «Merviglia certamente il pensare che, dopo aver fatto un lavoro così complicato, come era il reticolato lavorato a squadra, venisse poi ricoperto e reso invisibile; ciò ha fatto pensare ad alcuni che rimanesse a faccia vista.»(Lugli 1957, 489)
26. For further information about the excavations of Villa Arianna see: Camardo (2001, 75-83); d'Orsi (1996, 526); Ruggiero (1881, 366).
27. «In studying these polychrome masonry walls, however, one surprising thing is noticeable: the majority have the remains of rendering on them which would once have masked them completely. Indeed it is curious to think that, whatever trouble the masons took, it was doomed to be hidden by the application of a covering decoration for which more rough and ready masonry would have been sufficient. It is more satisfying to believe that these renderings were applied later to fit in with architectural fashion or the whims of successive owners» (Adam [1994] 2010, 133)
28. «Per un perfetto reticolato occorreva naturalmente che le tessere fossero squadrate con molta cura; in vari casi ho notato che le tessere erano cementate fra di loro con una malta di impasto più fine, più densa e di colore biancastro; inoltre le testate e gli spigoli dovevano essere fatti di blocchetti ben squadrati della stessa pietra, alti quanto la diagonale di una tessera e anch'essi accuratamente cementati. Di fronte alla difficoltà di costruire un muro reticolato viene fatto di domandarsi perché mai i Romani facessero il paramento a piramidi tronche anziché a blocchetti parallelepipedi, quelli stessi che ponevano negli angoli e negli archi prima dell'uso del mattone» (Lugli 1957 vol.1, 488)
29. «maceriam lapide fabricata et expolitatectoriispedalia in quadratumcubilia» (Columella vol.8,15)
30. «Ce système permettait d'obtenir, moyennant une dépense insignifiante, une liaison très-intime entre ces briques triangulaires et le noyau de maçonnerie brute; mais le parement, bienloin de pouvoir arrêter un effort d'écartement exercé par ce noyau de maçonnerie (fig. 3), ne se tenait debout que par l'effet de son adhérence avec les rem plissages : c'était une simple enveloppe, excellente pour protéger le mur contre les pluies, d'ail leurs absolument incapable de résister à une poussée agissant du de dans au dehors» (Choisy 1873, 21)
31. «La presenza di listature e/o corsi regolari atti a definire le bancate ed irrobustire la muratura è relazionata alla specifica tipologia eventualmente presa in esame e va considerata come un elemento migliorativo delle rigidezza complessiva del pannello murario» (Ceradini 1992)
32. «Che le due parti di questo pilastro siano unite in questa sezione da una coesione data, mentre tutto il resto della massa è perfettamente solida, ovvero unita da un'aderenza infinita: se il pilastro è caricato di un peso, questi tenderà a far scorrere la parte superiore del pilastro è realmente uguale in tutte le parti, affinché il pilastro possa sopportare un peso, occorre che vi sia alcuna sezione di

questo pilastro per la quale l'intensità della componente di pressione possa far scorrere la parte superiore. Pertanto, per determinare il più grande peso sopportabile da un pilastro, si deve cercare tra tutte le sezioni quella la cui coesione è in equilibrio con un peso che sia un minimo; poiché in tal caso ogni pressione superiore a quella determinata da questa condizione, sarebbe insufficiente a rompere il pilastro» (Benvenuto 1981, 301-2)

33. Si può valutare la forza trasversale massima, quella per la quale il blocco ribalta, cioè la forza che produce un momento ribaltante uguale al momento stabilizzante ... questa sembra dipendere solo dallo spessore e non dall'altezza, ma se il blocco è appoggiato sul suolo senza un vincolo rispetto al moto orizzontale esso può scivolare prima di ribaltare. ... si osserva cha al crescere dell'altezza il blocco resiste a forze crescenti, fino ad un limite oltre al quale la forza resistente rimane costante. Tale limite è quello che fa passare dal meccanismo di collasso per scivolamento a quello per ribaltamento, e si raggiunge quando L'altezza è tale da rendere la forza di scivolamento uguale a quella di ribaltamento. (Giuffré [1991] 1999, 12-3)
34. La più importante delle azioni esterne che il muro è chiamato a sopportare, oltre al peso proprio, è quella che tende a ribaltarlo, direttamente ortogonalmente al suo piano. (Giuffré [1991] 1999, 13)
35. Il muro in concrezione prevede, a interessi di tre piedi (circa 90cm) lungo lo sviluppo verticale, strati orizzontali di bipedaliche attraversano tutto lo spessore e per tutta la lunghezza. Si osservi che da una parte la nuova concezione muraria realizza, senza necessità di alternanze tra ortostati e diatoni, un muro ad un unico spessore d'un sol pezzo, e dall'altra, mediante i ricorsi di bipedale, predisposti gli spigoli orizzontali attorno a cui si possono realizzare, all'occorrenza, i cinematismi che abbiamo individuati nei muri in pietra squadrata. Vi sono molte importanti ragioni tecnologiche per giustificare la presenza dei ricorsi di bipedali nel muro in concrezione, ma se poi si riflette sulla consapevolezza, intrinseca nella tecnologia dell'opus quadratum, che una buona resistenza ai pesi (carichi verticali) si ottiene con superfici di appoggio orizzontali, si attribuisce agli orizzontamenti di bipedali una funzione statica di regolarizzazione del vincolo di appoggio. Finalmente, come si è detto, la presenza di orizzontamenti consente il cinematismo del muro oscillante sulla base. (Giuffré [1991] 1999, 22-4)
36. *For more informations about the earthquakes that preceded the eruption of 79 AD see: Fröhlich, Jacobelli (1995, 219); Guidobuoni (1989, 765).*
37. *La motivazione più calzante sembra però essere quella che parte dalla considerazione che la disposizione a 45 gradi dei blocchetti fa si che ogni "allettamento" dovuto al ritiro della malta, in fase di presa, viene agevolmente assecondato e compensato da piccoli, graduali spostamenti verticali della struttura, favoriti dalla stessa forza peso, che ricompattano la muratura, prima dell'indurimento, senza la formazione di lesioni verticali. Più semplicemente si potrebbe dire che la disposizione per diagonali a 45 gradi genera un effetto di precompressione orizzontale della struttura che previene la formazione di lesioni verticali in fase di presa ed indurimento. (Manieri Elia 2003, 11)*
38. Se il muro è caricato con una forza inclinata avviene che la forza trasmessa da un blocco a quello sottostante lungo la superficie di contatto orizzontale potrebbe essere inclinata, e posizionata, in modo tale da no essere più contenuta nella base del blocco che la riceve. Per questo l'equilibrio sarebbe impossibile ma in realtà esso può appoggiarsi al blocco adiacente nella direzione della forza, e ricevere una reazione orizzontale sufficiente a rispettare l'equilibrio. Il blocco che lo sostiene sarà a sua volta caricato dalla reazione corrispondente: l'equilibrio di quest'ultimo è possibile se il risultante delle forze che riceve, sia da quello sovrastante, che da quello adiacente, è interno alla sua base di appoggio e inclinato non più di quanto il coefficiente di attrito non consenta. (Giuffré [1991] 1999, 7-8)

References

Adam, Jean-Pierre.[1994]2010.*Roman Building Material and Techniques*.Translated by A. Mathews. London/New York: Taylor & Francis Group.

Benvenuto, Edoardo. 1981. *La Scienza delle Costruzioni e il suo sviluppo storico*. Firenze: Manuali Sansoni.

Camardo, D. 2001. *La Villa di Arianna a* Stabiae*,* inD. Camardo, A. Ferrara, in *Stabiae dai Borbone alle ultime scoperte.*Castellammare di Stabia

Cesariani, Cesare. 1521. *Di Luco Vitruvio Pollione de Architettura libri dece, traducti de Latino in Vulgare, affigurati, commentati*. Como.

Caporali, Giovanni. 1536. *Vitruvius*. Perugia.

Ceradini, Vittorio. 1992. *Modellazione e sperimentazione per lo studio della struttura muraria storica* (in Italian). PhD.diss. University of Rome La Sapienza.

Choisy, Auguste. 1873. *L'Art de Batir chez les Romains*. Paris.

Columella, Lucius JuniusModeratus, *Res Rustica*, Books V-IX.(ed. E.S. Forster, Edward H. Heffner).

d'Orsi, L. 1996. *Gli scavi di Stabiae. Giornale di scavo*, Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali, Soprintendenza Archeologica di Pompei, vol. 11, Castellammare di Stabia: Nicola Longobardi Editore.

Fonti, R. Borri, A. Barthel, R. Candela, M. Formisano, A. 2017. Rubble masonry response under cyclic actions: ex-

perimental tests and theoretical models. *International Journal of Masonry Research and Innovation*, 2:1-30.

Galiani, Berardo. 1790. *L'Architettura di Marco Vitruvio Pollione*. Napoli: Fratelli Terres.

Gardelli, P.; A. Butyagin; D. Chistov; A. Ershova; I. Fiore. 2011. Relazione preliminare sulle due campagne di scavo, restauro e rilievo 2010 e 2011 promosse dal Museo Statale Ermitage/Fondazione RAS presso il sito di Villa Arianna a Stabiae. *Rivista di Studi Pompeiani*, 22:209-216.

Gardelli, P.; S. J. Barker; J. C. Fant. 2016. Resti pavimentali in opus sectile nel tepidarium e nel caldarium di Villa Arianna a Stabiae, *Atti del XXI Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico*, Reggio Emilia, 18-21 marzo 2015, edited by C. Angelelli, D. Massara, F. Sposito, 439-448. Edizioni ScriptaManent.

Giuffré, Antonino. [1991]1999. *Lettura sulla Meccanica delle Murature Storiche*. Roma: Edizioni Kappa.

Giuffré, Antonino. ed.1993. *Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici. Il Caso Ortigia*. Roma: Editori Laterza.

Guidobuoni, E. 1989. *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea: storia, archeologia, sismologia*. Bologna: ING-SGA.

Fröhlich, T. Jacobelli, L. 1995. Archäologie und Seismologie: la regione vesuviana dal 62 al 79 d.C.: problemi archeologici e sismologici, *Colloquium, Boscoreale, 26-27 November 1993.* München: Biering&Brinkmann.

Harry, M. Hine. 1984.The Date of the Campanian Earthquake. A.D. 62 or A.D. 63 or both?. *L'Antiquitá Classique,* 53: 266-269.

Heyman, Jacques. 1966. The stone skeleton. *International Journal of Solids and Structures*, 2:249–279.

Krohn, Friedrich. 1912. *Vitruvii De ArchitecturaLibridecem. Lipsiae*: Aedibus B. G. Teubneri.

Lancaster, Lynne. 2009. *Roman Engineering and Construction.*The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World. Edited by John Peter Oleson: Oxford University Press.

Lugli, Giuseppe. 1957. *La Tecnica edilizia Romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Roma: Giovanni Bardi editore.

Manieri Elia, Giovanni. 2003. *Interventi di restauro sul patrimonio archeologico romano: tecnologico e metodologi*e. PhD.diss. University of Rome La Sapienza.

Perrault, Claude. 1684. *Les dix livres d'Architecture de Vitruve. Seconde editionreveuë, corrigée, &augmentée*. Paris: J.-B.Coignard.

Plinii,Secundi. 1844. *Historiae Mundi.* Vol. 2. Venezia: Tip. Giuseppe Antonelli.

Ruggiero, M. 1881. *Degli Scavi di Stabia dal MDCCXLIX al MDCCLXXXII. Notizie raccolte e pubblicate da Michele Ruggiero*. Napoli.

La llegada del ferrocarril a Zamora durante la segunda mitad del siglo XIX: elementos y estructuras singulares en la nueva trama urbana

M. Almudena Frechilla Alonso
Noelia Frechilla Alonso

Es un hecho conocido que la negativa coyuntura económica, política y social de España a finales del siglo XVIII, provocó el retraso con que la industrialización hizo su aparición en el país. La relativa estabilidad alcanzada a partir del segundo tercio del siglo XIX, marcó el punto de partida del proceso, siendo el desarrollo de infraestructuras de transporte una de sus caras más visibles (Herranz 2004).

Además de su papel como intercambiadores de mercancías y, por tanto, reactivadores de la economía de las regiones, la proliferación de rutas de comunicación, principalmente las ferroviarias a partir de 1956, provocaron un fuerte impacto en el territorio. Especial relevancia tuvieron las construcciones ingenieriles surgidas en las proximidades de las poblaciones, pues necesariamente condicionaron la configuración de las nuevas expansiones urbanas. Si bien en la mayoría de los casos, estos elementos actuaron como hitos reactivadores del crecimiento de la localidad, otros componentes como las vías de hierro asumieron el papel de nuevo cinturón, justo en el momento en que las murallas acababan de ser derribadas (Navascués y Aguilar 1980; Santos 2007).

El objetivo de la comunicación es valorar el alcance que tuvo la adjudicación y construcción de las líneas férreas que atravesaron la capital zamorana a finales del Ochocientos en la formación de la ciudad moderna. Para ello repasaremos loselementossurgidos en elrecorrido de lasinfraestructuras, que incorporaron al repertorio clásico nuevos materiales, sistemas constructivos y tipologías vinculadas al desarrollo fabril, reconocibles en el tejido urbano presente en la actualidad.

El desarrollo ferroviario en España durante el siglo XIX

La construcción del ferrocarril en España se inició con un considerable retraso en relación a países como Inglaterra, Francia y Alemania, que ya disponían de varios miles de kilómetros de red a mediados del siglo XIX (Menéndez 1994; Delfautet al. 1980). La demora permitió, no obstante, poder estudiarcon antelación las fórmulas utilizadas en otras naciones para abordar la financiación de las obras y encauzar la legislación del ramo antes de comenzar su explotación. A este respecto, no debemos olvidar que, precisamente en este periodo, se produjo la consagración del derecho de propiedad, siendo necesario el respaldo de textos legales para no limitar el alcance de los proyectos trazados (Terán 1996).

Entre los primeros pasos dados en dicha dirección, destacó la promulgación dela Real Orden de 31 de diciembreque regula las nuevas concesiones y establece un pliego de condiciones generales normalizado de 1844, que recogió los trámites relacionados con las propuestas de concesión. La Instrucción para promover y ejecutar las Obras Públicas de 1845 ya incorporó entre sus determinacionesla concesión a particularescomo sistema de financiación para este tipo de infraestructura, fórmula que fue recomendada en el

informe Subercase, publicado un año antes,como opción válida para suplir la falta de recursos económicos de las administraciones (Casares 2007).

Tras varios intentos de formular una ley específica que regulase los nuevos caminos de hierro, finalmente en 1855 vio la luz laLey de ferrocarriles de 3 de junio, inaugurando un periodo de gran avance en la construcción de vías de tren en España que se prolongó hasta finales de la década de los 60 (Navascués y Aguilar 1980). En este tiempo la red adquirió una configuración radial —a excepción de la línea del Ebro y la del Mediterráneo—, uniendo la capital con los centro de actividad económica de la península. A partir de ese esquema fundamental fueron creciendo ramales o enlaces sin llegar a formar una malla, con objeto de reducir costes a cambio de dilatar muchas veces el recorrido. El cómputo de kilómetros entregados a la explotación entre 1856 y 1868 fue de casi 5.000, frente a los 475 que existían anteriormente.

> Coincidió con la abundancia de recursos disponibles para los trabajos que realizaba el Estado por cuenta propia, el periodo de instalación por compañías concesionarias de las arterias principales de la red de ferrocarriles, desplegándose una actividad tan vertiginosa en las construcciones que parecía España completamente cambiada y lanzada por rumbos desconocidos (Alzola[1979] 2001).

La producción decayó tras la promulgación del Decreto de bases de 14 de noviembre de 1868, declarado ley el 20 de agosto de 1873, que priorizó la iniciativa particular en la construcción de obras públicas, lo que dio como resultado el abandono de los sectores menos rentables o cuyos beneficios se producían a más largo plazo (Casares 2007).

Tras la aprobación de la Ley de bases de 29 de diciembre de 1876y la Ley general de obras públicas de 13 de abril de 1877, se restableció la colaboración entre los sectores público y privado. Al amparo de esta regulación se aprobó, el 23 de noviembre de ese mismo año, una nueva Ley General de Ferrocarriles que inauguróuna nueva etapa de inversiones, llegando a contabilizar, a finales de siglo, casi 13.000 kilómetros.

La configuración urbana de Zamora a mediados del siglo XIX

A comienzos de los años 30 del siglo XIX, la provincia de Zamora evidenciaba una profunda ruralizaciónachacable, tanto a la pervivencia de las antiguas técnicas de explotación agrícola empleadas en el campo, como a la falta de comunicación con las grandes líneas de desarrollo manufacturero y la consiguiente falta de exportación (Calderón 1994).

Si bien gracias a la mediación del ministro de Fomento Claudio Moyano, zamorano de nacimiento, en 1837 fue adjudicada la carretera de primer orden entre Villacastín a Vigo que incluyó a Zamora en su itinerario, a mediados de la centuria «no existía ni una sola legua de carretera concluida, pues aunque en la de Salamanca había dos leguas abiertas al público, lo estaban por necesidad y sin haber sido definitivamente recibidas» (Guerola 1985).

Los datos del censo corroboran el escaso desarrollo de la región, cuya población se encontraba dispersa en pueblos de muy corto vecindario, acogiendo las ciudadesapenas un 6,2% del total. La capital, que contaba con la mayor aglomeración, solo registraba 9.000 habitantes, cifra que resulta aúnmás escasa si consideramos que en el siglo XVI ya había 7.600 residentes (Madoz 1847, vol. IX).

Siendo así, la localidadllegó al hemisferio del Ochocientos con la misma configuración urbana que había adquirido a finales del siglo XIII, periodo en el que experimentóel mayor crecimiento humano, constructivo y económico de su historia, una vez cedida su importancia estratégica en favor del desarrollo comercial y artesanal. Aún mantenía sus murallas prácticamente intactas, así como también catorce de sus puertas, dado que la localidad mantuvo su condición de «plaza fuerte» hasta 1868. Según el registro realizado ese mismo año, el lienzo exterior alcanzaba los tres kilómetros de desarrollo, a los que se sumaba el de los recintos interiores, que aún se mantenían en pie (Teijeira 2009-2010).

El cerco románico que delimitabala «ciudad vieja», mandado construir por Fernando I en el siglo XI, se localizaba en el extremo Oeste de la meseta donde se desarrollaba la aglomeración. Aún se distinguía con claridad la tortuosa vía principal, denominada «Rúa» que atravesaba longitudinalmente el ámbito, conectando el complejo catedralicio, situado en el extremo occidental, con la Plaza Mayor, emplazada en la denominada «Puerta Nueva» desde el siglo XV (Ferrero 1988). De ese punto partía el tridente de vías formado por las calles San Torcuato, Santa Clara y San Andrés, denominada San Pablo en su último tramo, que organizaba longitudinalmente el segundo



Figura 1
Plano de Zamora en 1851, elaborado por José Pérez Salvador (Archivo Histórico Provincial de Zamora [AHPZa])

cerco, conocido como «el Burgo», constituido en el siglo XIII. También se apreciaba el último recinto, en torno a la Puebla del Valle, incorporado en el siglo XII al tejido urbano para unir los cercos primitivos con el puente nuevo, construido en el siglo XII (figura 1).

El ferrocarril a su paso por la ciudad.

En pocos años, la situación de la ciudad comenzó a mejorar, pues en 1954 se inauguró la primera carretera importante, que unió la capital del Duero con Valladolid y, a través de ésta, con los puertos del Norte del país. Al mismo tiempo que se trabajaba en esta ruta, se concluyó el tramo de la carretera de Vigo, que conectó Zamora con Salamanca, debiendo esperar hasta comienzos de los años 60, para que se retomara la construcción del tramo septentrional.

En esa misma década se produjo la introducción del ferrocarril en la localidad, convirtiéndose el acontecimiento más destacado en el proceso de mejora de las comunicaciones de la provincia y, sin duda, también uno de los de mayor incidencia en la conformación del crecimiento urbano experimentado por la capital durante los últimos años del siglo XIX y primeras décadas del XX.

En 1963 se concluyó la primera línea férrea que llegó a la ciudad, que cubría la ruta entre ésta y Medina del Campo. Dicho ramal enlazaba con el gran eje radial del Norte que, una vez finalizado, permitió conectar Zamora con otras capitales castellano-leonesas así como con regiones de la cornisa cantábrica y del centro del país.En 1888 se adjudicó la línea entre Plasencia y Astorga, cuya trayectoria incluyó Zamora y Benavente, conformando el enlace natural de las comunicaciones ferroviarias de la zona occidental del país.

Durante estos años finales del XIX tambiénse planteó completar la ruta que comunicase la capital-zamoranacon Galicia, trayecto queno llegó a formalizarse hasta la tercera década del siglo XX. Las obras comenzaron en 1927 bajo la dirección del técnico José Fernández-España Vigil, enmarcándose dentro del denominado «Plan Preferente de Urgente Construcción».

La línea Zamora-Medina del Campo

El planteamiento inicial de la línea de ferrocarril entre Zamora y Medina del Campo se produjo en 1957, gracias, nuevamente, al apoyo del zamorano Claudio Moyano, ministro de Fomento durante el reinado de Isabel II. Las obras dieron comienzo en 1861 y se prolongaron durante tres años.El cronista Eduardo Barrón (1864) hizo una descripción detallada de la infraestructura con motivo del viaje inaugural del trayecto entre el origen de la línea y la localidad zamorana de Toro.

A la salida de la localidad vallisoletana se localizó la primera de las obras de fábrica que salpicaron el recorrido. Se trató del puente de treinta y cinco metros sobre el río Zapardiel, formado mediante celosía de hierro «apoyado en estribos de fábrica empleando el ladrillo en los macizos, y haciendo los zócalos ángulos é imposta de sillería». Los soportes del paso superior sobre la carretera de la Coruña utilizaron un sistema similar al anterior, alcanzando una anchura de siete metros, al igual que la vía que sorteaba. En el caso del puente sobre el río Trabancos, la estructura, también de celosía y treinta y cinco metros de luz, apoyó en estribos construidos «con sillarejos y sillería sin labrar más que los lechos y planos de junta».

En el municipio de Castronuño fue preciso construir otro viaducto, «el más notable de la línea», para lo que se realizó un estudio pormenorizado, indagando «con exactitud el desagüe necesario» y tomando las suficientes precauciones para superar crecidas similares a la sufrida en 1860. Formado también mediante celosías, su cimentación resultó muy complicada debido a la naturaleza de los terrenos, de la profundidad que alcanzaba el agua en el verano y de la incertidumbre de localizar el firme, a pesar de los sondeos realizados. Finalmente se optó por desestimar los métodos ordinarios de fundación —mediante macizos de hormigón y ataguías o pilotaje—, en favor de la cimentación mediante dos tubos de hierro de dos metros de diámetros rellenos de hormigón hidráulico, sobre cuyas cabezas se apoyaron los cuchillos que conformaron el puente.

Los puentes sobre el río Hornijas y los arroyos Bajoz y Villachica se ejecutaron mediante un único tramo decuarenta metros formado por vigas de palastro apoyadas en estribos de sillarejo con ángulos de sillería. Completaron la relación de viaductos los pontones construidos en Dueñas y Aucilla, ambos de fá-

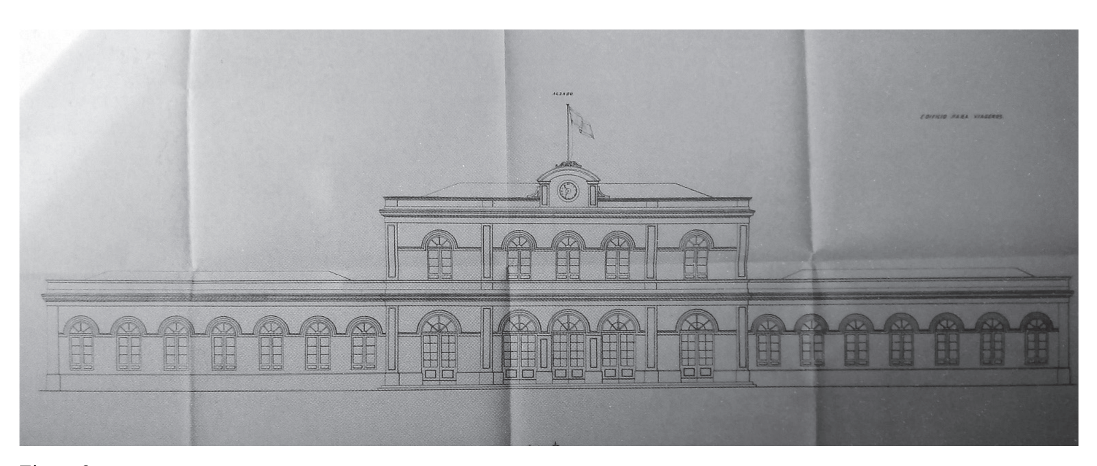


Figura 2
Alzado de la Estación de Ferrocarriles de Zamora (Ávila 2009, vol. I)

brica de ladrillo y sillería «ejecutados con noble perfección».

Asimismo, se construyeron varias estaciones a lo largo de la ruta. La de Zamora se emplazó al Nordeste del casco tradicional de la localidad, en la parte baja de la meseta sobre la que se configuró el ensanche. El edificio, cuyo autor es desconocido, se organizó según una planta rectangular y simétrica formada por tres cuerpos. De ellos, el central destacó respecto de los laterales por sus dos alturas y su situación ligeramente adelantada. Los huecos, de medio punto, se distribuyeron uniformemente en los bloques extremos, dividiéndose en tres tramos mediante pilastras en la parte central. Como colofón se erigió un pequeño reloj en el eje de simetría, elemento imprescindible en esta tipología arquitectónica. Con posterioridad fueron añadidas las cerchas de los andenes (Ávila 2009, vol. I) (figura 2).

El ferrocarril entre Plasencia y Astorga

Durante el último cuarto del siglo XIX, se produjo un nuevo empuje a la construcción de kilómetros de vía férrea, fundamentalmente entre los polos mineros de la cornisa cantábrica y la zona noroeste de Castilla y León, aunque también en zonas de Andalucía y valle del Ebro, asociado a la expansión de los intercambios agrícolas y al abastecimiento de las ciudades gracias a capital privado. En esta coyuntura se propuso la construcción de la línea de ferrocarril entre Plasencia y Astorga. La adjudicación definitiva se produjo en agosto de 1882 y el 1 de junio de 1888 se procedió a la subasta[1].

El trayecto inicialmente planteado, a su paso por la capital zamorana, incluyó la construcción de un puente sobre el Duero aguas arribas y una nueva estación localizada en el entorno del polvorín, al Sureste de la meseta, en un enclave alejado del casco urbano. No obstante, solo un año después, la compañía concesionaria decidió, unilateralmente, modificar el trayecto a través de la capital zamorana, dirigiendo la trayectoria hacia la Estación existente y atravesando, a su paso, la explanada contigua al casco consolidado. De ese modo, la única zona de expansión posible de la ciudad, quedaba dividida por una trinchera a cielo abierto, salvo en el trayecto delimitado entre las puertas de Santa Clara y San Torcuato donde se propuso la construcción de un túnel de 250 metros. El informe elaborado por las comisiones de obras y policía rural, tras examinar el nuevo proyecto aprobado por la compañía concesionaria, dejó claro la posición del Ayuntamiento a este respecto.

> Perjuicios incalculables se causarían á los intereses generales de la localidad si las obras se ejecutaran con sujeción al plano que se nos ha presentado. Zamora como la mayoría de los pueblos tiene la necesidad de ensanche de población, porque las necesidades de la vida moderna y el progreso de los mismos pueblos así lo exigen, y no tiene Zamora por su posición Topográfica otro medio de realizar el ensanche que utilizando las afueras de las puertas de S.taClara y S. Torcuato (…) y a esta altura viene a destruir tan alagueñas(sic) circunstancias la obra del ferro-carril en su paso por la población con una trinchera de la importancia que el proyecto indica, dividiendo lo que ya se consideraba población en dos grupos con perjuicio como ya queda dicho de los intereses generales y particulares[2].

Comenzó, a partir de entonces, una intensa campaña por parte del Consistorio, para lograr que la compañía del ferrocarril prolongara el túnel desde la salida del puente hasta la entrada a la Estación, lo que dilató la finalización del trayecto. La llegada de la primera locomotora a la localidad de Hervás en agosto de 1893 y a Béjar y a Salamanca al año siguiente, se produjo sin que se hubiese solucionado el conflicto con el Ayuntamiento zamorano. Sin duda, la necesidad de comenzar la explotación de la línea completa avocó a la sociedad concesionaria a ceder en buena medida a las pretensiones del Ayuntamiento. Finalmente se consiguió prolongar el túnel unos trescientos metros más, en dirección a la Estación. No obstante, el trayecto entre las puertas de Santa Clara y San Pabloquedó atravesado por los raíles. La compañía se comprometió, únicamente, a construir un amplio paso elevado, de doce metros de ancho, enfrente de esta última, desde donde estaba previsto que arrancase el nuevo paseo conducente al parque de «los Tres Árboles», a orillas del Duero, y uno inferior en las proximidades de la salida del puente[3].

El viaje inaugural de los 347 kilómetros de la línea completa se produjo el 21 de julio de 1896. Las crónicas elaboradas por los ingenieros Maluquer (1896) y Boix (1896) para la *Revista de Obras Públicas* permiten asomarse a su trazado, salpicado por números puentes y nuevas estructuras. Solamente en el trayecto entre Salamanca y Zamora, que fue el último en in-

augurarse, se mencionan los puentes sobre los arroyos San Cristóbal, Negrilla e Ircala, de 10 metros de luz, el de los ríos Huelmas, de 35 metros y el de San Cristóbal, de 20 metros, así como varios pasos elevados sobre la carretera de primer orden entre Vigo y Villacastín. Fueron varias las estaciones construidas a su paso: Valdunciel, Villanueva de Cañedo y el Cubo.

En la ciudad de Zamora, el ingenio más importante —además del paso subterráneo que finalmente alcanzó los 545 metros de desarrollo— fue el puente sobre el río Duero. El diseño finalmente ejecutado fue realizado por C. Bürg en 1889. La estructura se constituyó mediante un tablero metálico de cinco tramos, siendo los centrales de 52,92 metros de longitud cada uno y de 47,04 los extremos. El conjunto descansaba sobre vigas divididas en paneles de 2,94 metros de ancho y 5, 80 metros de alto que, a su vez, se apoyaban en cuatro pilas de sillería cuyos lados menores estaban curvados.

El puente descrito fue sustituido en 1933, por otro proyectado por «La Maquinista Terrestre y Marítima»[4]. El viaducto se formó mediante un tablero apoyado sobre dos vigas en celosía de menor altura que las que formaron la anterior estructura, por lo que hubo que elevar las pilas y los estribos para adaptarlo a las rasantes existentes. No se modificó la longitud total ni el número de tramos, estando en este caso divididos cada uno de ellos en diez y once intervalos —en los vanos extremos y centrales respectivamente—. Se colocaron, además, unos andenes de chapa estriada unidos a las vigas principales mediante cartelas. La sustitución del puente se realizó en octubre de 1933, colocando el nuevo en paralelo al existente y desplazando ambos elementos lateralmente[5] (figura 3).



Figura 3
Puente nuevo de 1933

El ensanche de Zamora a comienzos del siglo XX

El plano de Zamora, elaborado entre 1913 y 1919 por Benito Chías y publicado por Rocafort(1913-1919, vol. 4) en la obra *La España Regional*, muestra el avance de la expansión zamorana pocas décadas después de la llegada del ferrocarril a la capital (figura 4).

Resulta evidente que la mayor aglomeración urbana extramuros se concentró en el sector Norte, en las proximidades de la Estación de Treny de la zona fabril desarrollada alrededor. Desde su inauguración el edificio se configuró como un hito en el desarrollo urbano posterior, dando origen a la formación de dos de las principales travesías del ensanche zamorano: la calle Víctor Gallego —nombre dado a la antigua carretera de la Estación— que discurría por el borde de la altiplanicie, y la avenida Tres Cruces que atravesaba la meseta. Ambas partían de la puerta de San

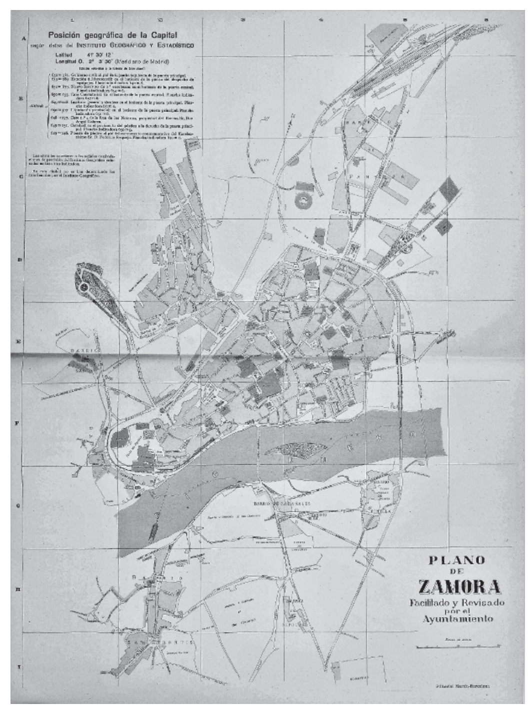


Figura 4
Plano de Zamora durante la segunda década del siglo XX (Rocafort 1913-1919, vol. 4)

Torcuato, uniendo el nuevo intercambiador con la Plaza Mayor, centro comercial de la ciudad desde la Edad Moderna.

Tanto es así, que fueron dos de las primeras travesías extramuros que contaron con plano de alineación, fechados a finales de 1888[6]. Si bien en aquella ocasión solo el de la primera quedó aprobado oficialmente, las óptimas condiciones de la segunda, tanto por su estratégica localización respecto a las principales vías de comunicación, como por sus favorables características geográficas, lo convirtieron en un emplazamiento idóneo sobre el que desarrollar nuevas e importantes intervenciones urbanas antes de finalizar el siglo, respondiendocon ello «a las exigencias de mejora de las condiciones ambientales de la población y a las de representación de la nueva sociedad emergente»[7].

Entre ambas calles se desarrolló el primer barrio extramuros destinado a alojar familias menos pudientes que vivían «hacinadas en casas pequeñas y mal ventiladas en algunos de los barrios dentro de las murallas»[8]. El trazado fue elaborado por el entonces maestro de obras Eugenio Durán en 1885, comenzando inmediatamente la ocupación del enclave, que fue ampliado pocos años después, mediante la adición de una nueva franja de terreno. La progresión de nuevas residencias debió ser considerable en 1890, como demuestra el hecho de que el Consistorio decidieradotarlo de ciertos servicios urbanos como sereno, alumbrado y un surtidor de agua potable[9], antes, incluso, que otros barrios más antiguos.

Contrastando con esta zona, la parte del ensanche situada al Sur, conocida como barrio de Candelaria Ruíz del Árbol, se encontraba aun completamente despejada, estando separado de la ciudad tradicional mediante la trinchera del tren. No fue hasta la década de los años 20 del pasado siglo cuando comenzó su colonización, debido al alto precio que adquirieron los solares situados en el ámbito septentrional. La primera ordenación que se trazó para dicha zona, elaborada por el arquitecto municipal Francisco Hernanz en 1926, trató de continuar la misma distribución sensiblemente regular que se estaba formando en el resto del ensanche[10]. Sin embargo, la presencia de la trinchera del tren obligó a solapar dos vías diagonales que actuaron de comunicación fundamental con el resto del tejido consolidado (figura 5).



Figura 5
Plano de alineación general del barrio de D.ª Candelaria Ruiz del Árbol, elaborado por Francisco Hernanz en 1926 (AHPZa)

La cubrición de la foso no se llevó a cabo hasta 1968[11]. A pesar de que con dicha intervención se recuperó la permeabilidad con la ciudad tradicional, el nuevo tejido mantuvo la estructura diagonal impuesta por la presencia de la vía.

Conclusiones

La exposición de los hechos permite concluir que también en el caso de Zamora se cumplió la tesis expuesta por Navascués y Aguilar acerca del papel fundamental que tuvieron las obras del ferrocarril en el desarrollo urbano de las localidades. Aún más,los ejemplos presentados demuestran las dos caras de este fenómeno.

Por una parte, el edificio de la Estación se convirtió en un hito urbano de primer orden, actuando de catalizador de la nueva aglomeración urbana. Asimismo, la construcción de estructuras como el puente metálico sobre el río Duero, no sólo favoreció la acción vertebradora del territorio a ambos márgenes, sino que incorporó a la fisionomía urbana nuevos materiales y novedosos sistemas constructivos.

Sin embargo, la trinchera abierta que discurrió en paralelo a la ronda de la muralla, retrasó el desarrollo del ensanche en ese sector, condicionando la estructura del tejido al impedir la permeabilidad con la ciudad histórica.

Notas

1. El acta de la sesión extraordinaria municipal, convocada el día 1 de junio de 1888, se recogen las celebraciones que siguieron a la adjudicación de la línea de ferrocarril de Plasencia a Astorga, con «demostraciones de público regocijo, como cohetes voladores, campaneo, bailes músicas e iluminaciones generales».
2. El texto se recoge en las actas de la sesión municipal celebrada el 18 de diciembre de 1889.
3. Tras abierta discusión entre los concejales, se aceptaron las condiciones ofrecidas por la compañía concesionaria de la línea, el 23 de julio de 1894, según se recoge en las actas.
4. *El Heraldo de Zamora* se hizo eco de la sustitución del viaducto en un artículo publicado el sábado 7 de octubre de 1933.
5. Para conocer más acerca de la infraestructura, consultar Ávila (2009, vol I).
6. El plano de alineación de ambas calles fue presentado en la sesión municipal celebrada el 10 de diciembre de 1888. Tras el periodo de exposición pública, y a la vista de las reclamaciones interpuestas se decidió aprobar, únicamente, la alineación de la carretera de la Estación, tal y como se reflejó en las actas municipales del 25 de abril de 1889.
7. En 1892 se decidió convertir el sitio de «las Tres Cruces» en un área completamente peatonal, encargando la elaboración de un paseo de primer orden en «por carecer la población de uno que reúna las buenas condiciones de capacidad y ventilación indispensables, sin perjuicio de discutir en otra ocasión la conveniencia de ensanchar el de S. Martín para prolongarle con el de Valorio». La aprobación del proyecto presentado se produjo en la sesión municipal celebrada el 23 de agosto de 1893.
8. A partir de Ávila (2009, vol I).
9. Así se recoge en las actas municipales de la sesión celebrada el 6 de julio de 1992.
10. El plano se conserva en el Archivo Histórico Provincial de Zamora [AHPZa].
11. «Una obra importante para Zamora. Se va a cubrir la trinchera del ferrocarril de la avenida de Portugal», en *El Correo de Zamora,* 10 de marzo de 1968.

Lista de referencias

Alzola, Pablo. [1979] 2001. *Historia de las obras públicas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Ávila, Álvaro. 2009. *Arquitectura y urbanismo en Zamora (1850-1950),* vol. I. Zamora:I.E.Z. «Florián de Ocampo».

Barrón, Eduardo. 1864. Inauguración del ferro-carril de medina del Campo a Zamora. En *Revista de Obras Públicas,* vol. II: 117-119.

Boix, Félix. 1896. Ferrocarril de Plasencia a Astorga. *Revista de Obras Públicas,* nº 16, vol. I: 197-198;

Calderón, Basilio. 1994. La deficiente infraestructura de transportes: Uno de los factores condicionantes del desarrollo y marginación de la provincia de Zamora en el siglo XIX. En *Historia de Zamora*, tomo IV. Salamanca: Instituto de Estudios Zamoranos «Florián de Ocampo»: 251-263.

Calderón, Basilio. 2007. Economía y sociedad en la provincia de Zamora en los siglos XIX y XX: una marginación secular, una integración dependiente. En *NecOtium. Comercio e Industria en Zamora*. Zamora: Junta de Castilla y León, Museo Etnográfico de Castilla y León.

Casares, Ana Belén. 2007. El resurgir jurídico de la concesión de obras públicas a iniciativa particular. *Revista Electrónica de la Facultad de Derecho de la Universidad de Granada*: 5-25.

Delfaut, P.; CL Gerard; P. Guillaume; J. A. Lesourd. 1980. *Nueva historia económica mundial.* Madrid: Vicens Vives.

Ferrero, Florián. 1998. *La Plaza Mayor de Zamora.* Zamora: Archivo Histórico Provincial.

Guerola, Antonio. 1985. *Memoria de mi administración en la Provincia de Zamora como gobernador de ella desde 12 de agosto de 1853 hasta 17 de julio de 1854.* Zamora: Instituto de Estudio Zamoranos «Florián de Ocampo».

Herranz, Alfonso. 2004. La dotación de infraestructuras en España (1844-1935). *Estudios de Historia económica,* 45: 1-140.

Madoz, Pascual. 1847. *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de Ultramar*, vol. IX. Madrid: Establecimiento tipográfico de P. Madoz y L. Sagasti.

Maluquer, Manuel. 1896. Ferrocarril de Plasencia a Astorga. Inauguración oficial. *Revista de Obras Públicas,* nº 25, vol. I: 339-342.

Menéndez, J. Mª. 1994. Evolución histórica delsistema de transportes en España. En *Transportes. Un enfoque integral*. Madrid: Servicios de Publicaciones Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Navascués, Pedro y Aguilar, Inmaculada. 1980. Introducción a la arquitectura de las Estaciones en España. En *El mundo de las estaciones.* Madrid: Ministerio de Cultura: 137-230.

Rocafort, Ceferí (1913-1919). *La España Regional,* vol. 4.Barcelona: Alberto Martín.

Santos, Luis. 2007. *Urbanismo y ferrocarril. La construcción del espacio ferroviario en las ciudades medias españolas.* Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Teijeira, Mª Dolores (2009-2010). La conservación de un patrimonio en desuso: Actuaciones en las murallas de Zamora durante el siglo XIX. En, *Espacio, tiempo y* forma: 217-233.

Terán, Fernando de. 1996. Evolución del Planeamiento urbanístico (1846-1996). *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales,* 107-108: 167-184.

Bóvedas enrejadas por cruceros del Monasterio de San Martín Pinario: rasgos constructivos y estructurales

Manuel J. Freire Tellado

La llegada del Renacimiento provocó un radical cambio de criterio estético, futo del cual las geometrías *romanas* basadas en el cubo, el cilindro y la esfera se imponen a las geometrías de redes en las que se basan las bóvedas góticas y —especialmente— tardogóticas. Junto a esta batalla estética se libra también una lucha en las soluciones constructivas —apreciable ojeando tratados como el de Vandelvira (ca 1650)—, entre la estereotomía continua renacentista y las técnicas derivadas de la cantería gótica, basadas en la labra de elementos lineales como soporte de la forma. El nivel de excelencia que se había alcanzado la difusión de su conocimiento y su menor coste justifican su pervivencia a lo largo del tiempo, adaptándose las técnicas constructivas a los nuevos gustos formales que venían de Roma.

Una de estas adaptaciones se produce en la construcción de bóvedas de cañón mediante un sistema de nervios longitudinales y transversales. Se originan así una malla de elementos rectangulares curvos —una rejilla— que se cierran con plementería, dando lugar a las bóvedas que se han denominado enrejadas por cruceros y que visualmente se encuadran en las de casetones o encasetonadas. Este texto describe y analiza las bóvedas de este tipo que existen en el edificio de San Martín Pinario de Santiago de Compostela.

El trazado y despiece de las bóvedas enrejadas fue pormenorizadamente estudiado en su época por Vandelvira, resolviendo su aplicación para bóvedas semiesféricas, baídas, ovales…, si bien no incluye el despiece de las bóvedas de cañón enrejadas por cruceros, quizás por entender que su solución quedaba englobada en los casos anteriores, mucho más complejos. El profesor Palacios (2003) ilustró con ejemplos construidos los despieces de Vandelvira (ca 1650) y aclaró distintas posibilidades constructivas. Estas líneas analizan las bóvedas de este tipo que existen en San Martín Pinario, completando el estudio emprendido en Freire-Tellado (2017).

El edificio

El Monasterio de San Martín Pinario de Santiago de Compostela, que en fue su origen un gran monasterio benedictino —con unos 20.000 m² de superficie construida—, está considerado como el segundo monasterio español por extensión. Situado frente a la fachada norte de la Catedral, la denominada de Azabachería, su apariencia actual se debe a una sucesión de campañas constructivas desarrolladas entre los siglos XVI y XVIII encabezadas por prestigiosos arquitectos y maestros de obras, entre ellos Mateo arquitecto español-portugués[1] quien dio las trazas para la reforma del edificio a finales del siglo XVI.

La lista de arquitectos y maestros de obras al frente de las obras incluye algunas de las personalidades más relevantes del renacimiento y barroco hispánico, entre ellos Mateo López (Portugal, de 1589 a 1603 -RIP 1605-), Ginés Martínez de Aranda (Jaén, de 1606? a 1608 que vuelve a Alcalá), Bartolomé Fernández Lechuga (Baeza, de 1626 a 1638), Peña de

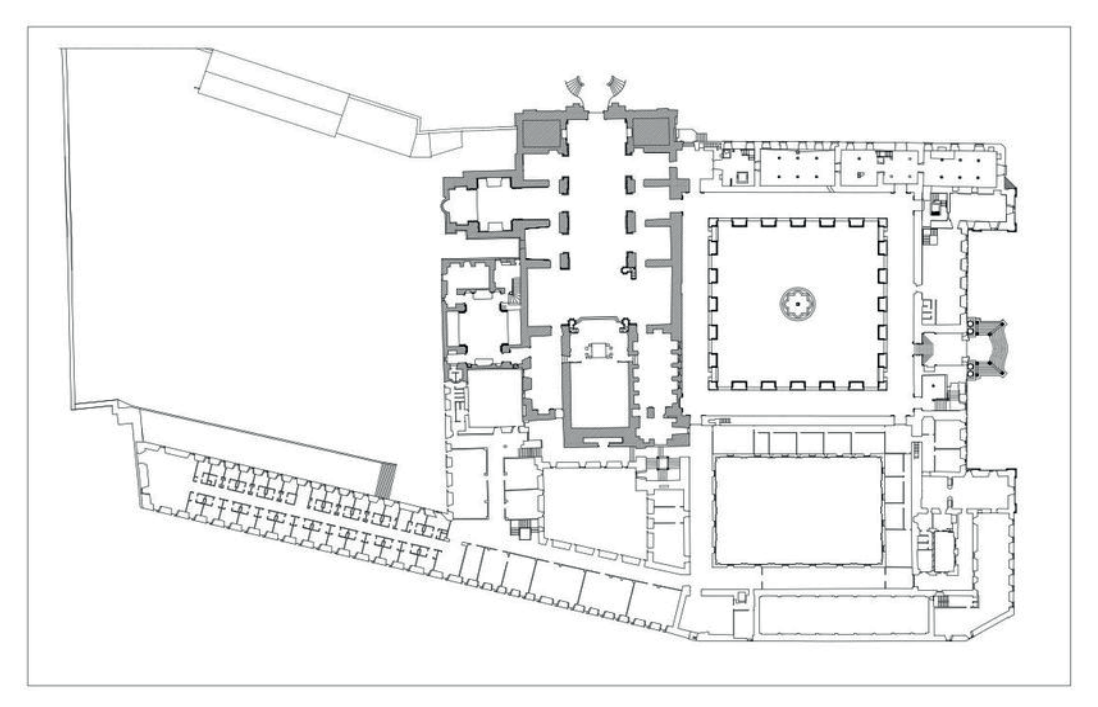


Figura 2
La iglesia en el conjunto de San Martín Pinario (elaborado a partir de RYTA 2005 y 2017)

Toro (Salamanca, 1652, ausente en 1664), Melchor de Velasco (1664, contratado por la ausencia del anterior), Maestro Micael Arias (director de la fábrica en 1667), Fray Tomás Alonso (1677-1685), Fray Gabriel de Casas (1688-1709 RIP) , Fray Francisco Velasco y fray Iñigo Suárez (1709-1730) y Fernando de Casas y Novoa (1730-1749 RIP) [2].

Su impresionante iglesia, consagrada en 1648, se cierra con cúpula con linterna (Bartolomé Fernández Lechuga, 1627-1636) y un conjunto de bóvedas enrejadas por cruceros[3] construidas en distintas fases entre finales del siglo XVI y mediados del XVII, resueltas con directriz de medio punto de distintos tamaños y acabados, encontrándose entre ellas las primeras de este tipo construidas en Galicia de acuerdo con la bibliografía (Goy 2005, 147).

Dicho conjunto incluye las bóvedas de las seis (ocho en origen) capillas laterales que se abren a la nave de la iglesia (Mateo López, 1592-1595), las del Oratorio de San Felipe Neri —antigua sacristía— y de la Statio (Mateo López, 1596-98) que flanquean la cabecera de la iglesia, las de los brazos del crucero y la del presbiterio-retrocoro (Mateo López, 1596-98), la bóveda de la nave (1627-1636), la de la Theca —capilla de las Reliquias— (Fray Gabriel de las Casas, 1694) y la bóveda del coro alto (iniciado en 1685 por Fray Tomás Alonso y finalizado por fray Gabriel de las Casas)[2].

Se denominan bóvedas enrejadas por cruceros por cuanto se construyen mediante un sistema de nervios resaltados que forman una rejilla sobre la superficie de la bóveda —una reja— que soportan un conjunto de piezas pétreas con un espesor notablemente inferior al ancho llamadas plementos. Los nervios se dividen en dos familias, arcos transversales de medio punto y nervios rectos longitudinales. Las piezas que resuelven los encuentros entre ambas familias de nervios se denominan cruceros. El nombre hace referencia por tanto al aspecto —enrejado— y al soporte constructivo, los cruceros.

Las bóvedas más antiguas del edificio son las de menor luz y sirven de soporte para el nivel interme-

dio de la iglesia. A mayor cota se disponen las de los brazos del crucero y del presbiterio-retrocoro, ésta de mayor luz y acabado policromado. Y por encima de éstas se encuentra la bóveda que cierra la nave de la iglesia, la última en ser construida, la mayor y más alta, cuya coronación se sitúa a casi 28 metros del suelo de la nave. Sobre las bóvedas de estos dos últimos niveles se disponen las cubiertas de la iglesia, por lo que los trasdoses resultan accesibles. Finalmente, la bóveda de la Theca-Capilla de las reliquias, también policromada, se sitúa contigua a la nueva sacristía y cuenta con la plementería de la totalidad de los casetones tallada. Todas estas bóvedas se materializan en sillería de granito de los alrededores de Santiago, con acabado visto salvo las dos policromadas. Con la excepción de la del coro alto, se trata de bóvedas de cañón con un trazado de medio punto.

Los nervios de las bóvedas enrejadas pueden ser todos de igual sección o no, siendo más frecuente la primera opción. Además pueden estar orientados de forma perpendicular a la superficie de la bóveda (rectos) o ser verticales (nervios revirados). En este caso todos los nervios tienen igual sección, orientándose los nervios longitudinales hacia el eje de la nave.

El número de casetones que las componen es de 5x5 (capillas bajo el coro alto), 7x5 (capillas a la nave), 7x9 (Oratorio y Statio) 11x4 (brazos del crucero), 11x11 (cabecera), 9x15 (nave) y 7x7 (Theca), donde la primera cifra indica el número de casetones que construyen la rosca y la segunda el número de ellos que forman el fondo. En todos los casos se trata de un número impar, lo que implica que el punto medio está ocupado por un casetón —que en algunos casos se decora con un pinjante— y que la bóveda carece de ligadura superior —y también de espinazo— dado que la cota más alta está ocupada por la plementería (esta circunstancia la separa de la bóveda del Refectorio de Monfero —quizás algo posterior en el tiempo—, en la cual un nervio ata las claves de los arcos).

La bóveda del Coro Alto actual es la sustituta de la ejecutada por Mateo López en 1614: iniciada por Fray Tomás Alonso en 1685, la finaliza fray Gabriel de las Casas. Es la única que no es de medio punto, ya que tiene un de perfil deprimido-cóncavo. Se organiza como un conjunto de arcos pétreos transversales cuyo intradós se resuelve con un encasetonado en el que las piezas de los nervios dispuestos en el sentido del eje de la nave son de madera (véase Franco et al. 2006).

Bóvedas enrejadas del edificio

Bóvedas de las capillas de la iglesia (Mateo López, 1592-1595)

Se trata de un conjunto de cuatro capillas que se abren a la doble altura de la nave y otras dos más bajas situadas bajo el coro alto, así como otro par situadas a los pies de la nave que, a mediados del XVII, fueron cegadas por Peña de Toro para reforzar el arranque de las torres de fachada que se ubicarían en su vertical. Por ello en la actualidad permanecen en uso seis capillas (tres a cada lado) de las ocho originarias.

La advocación de las capillas existentes a partir del altar es la siguiente: del lado del Evangelio (sur), Cristo de la Paciencia, Santa Xertrude y San Bernardo; del lado de la Epístola (norte), Santa Escolástica, Nuestra Señora del Socorro y Santa Catarina.

Todas ellas están construidas con la misma solución: bóveda de cañón enrejada por cruceros, con directriz de medio punto, con nervios resueltos en sillería de granito visto y plementería de lajas del mismo material. Todas cuentan con pinjante en el casetón central —¿recuerdo quizás de las claves de bóveda?—, que en el caso de la del Socorro fue dorado —y la cornisa de arranque coloreada— probablemente en época barroca.

Las bóvedas arrancan de cornisas quebradas sobre ménsulas coincidentes con el arranque de los arcos transversales rematadas inferiormente por una moldura corrida, y son soportadas por los muros laterales



Figura 2
Bóveda de la capilla de Santa Escolástica (foto del autor)

revestidos de las capillas. El trasdós no es accesible por servir de soporte al nivel superior, en el que no se ha previsto ningún acceso.

Se organizan en cinco casetones para el fondo y con 5 ó 7 para la rosca (5 en las dos capillas de los pies de unos 20 pies[4] de luz —5,56 m— y 7 en el resto —unos 25 pies, 6,94 m—), aunque en estas últimas sólo resultan visibles 4 1/2 de fondo por el regruesamiento de los arcos de embocadura y sus apoyos, que probablemente fue añadido como obra de aseguramiento ante la construcción de los balcones que prolongan el coro alto por los laterales de la iglesia iniciado por Fray Tomás Alonso en 1685.

Los despieces de bóvedas enrejadas que dibuja Vandelvira se realizan exclusivamente con cruceros, sin otras piezas auxiliares, lo que obliga a que tengan los cuatro brazos de longitudes similares y su labra sea realmente difícil. La construcción se simplifica si en una de las direcciones los brazos del crucero no sobresalen del ancho del nervio —el sólido capaz es mucho menor— y se emplean piezas auxiliares para completar los nervios, solución que dibuja Palacios (2003, 310) para la construcción de los cruceros con nervios *revirados*. En función de las proporciones de los cruceros. Éstos pueden ser *cuadrados* —todos los lados iguales—, *perlongados* —alargados— *disminuidos* —las dimensiones disminuyen hacia la coronación de la bóveda—…

En San Martín las bóvedas se despiezan con cruceros que tienen brazos largos en el sentido de los arcos y cortos (apenas superan en el ancho del nervio) en el perpendicular. Presentan un descuelgue —medido desde el suelo— de unos 210-220 mm —entorno a un palmo—. Las piezas rectas longitudinales se machihembran: en los cruceros se crea una caja para recibirlas, como se aprecia en el nervio de la Capilla de Santa Xertrude que ha perdido el descuelgue. De esta forma se garantiza el apoyo y la estabilidad de la pieza aún en ausencia de compresiones, situación usual de las piezas longitudinales en las bóvedas cilíndricas. Entre cruceros se coloca una única pieza en ambas direcciones, recta en sentido longitudinal y curva, una dovela, para formar el arco en el transversal.

Pese a que la organización general de la bóveda se mantiene, las dimensiones de los cruceros cambian en los distintos arcos, provocando la impresión de que se despiezan de uno en uno y no explotando completamente la seriación que el sistema permite.

Si bien el estado general es bueno, se constatado que al menos una de las piezas rectas de los nervios longitudinales de la capilla de San Bernardo —la situada junto al pinjante— es de madera, fruto quizás de una reparación. Se aprecian además manchas de eflorescencias en las capillas bajo el coro. En toda la fábrica se aprecia la realización de un desafortunado rejuntado a base de mortero de cemento gris.

Bóvedas del Oratorio de S. Felipe Neri y la Statio (Mateo López, 1596-98)

Se trata de dos estancias simétricas con respecto al eje de la nave, situadas a ambos lados de la cabecera. Sus bóvedas son similares a las de las capillas que abren a la nave anteriores, si bien con mayor profundidad (7x9 casetones), cerrando un espacio de 6,08 m de ancho (unos 22 pies). Como en el caso anterior, arrancan de cornisa quebrada, pero carecen de pinjantes.

Existen algunas diferencias entre ambas estancias: el Oratorio se cierra con sendas arquerías con fondo ciego en los lados largos, mientras que en la Statio se hace con muros; en ésta se abrieron dos huecos a la fachada al patio de las bodegas (o de los Cerdos) que interrumpieron la cornisa, y que permiten comprobar que la plementería de esta fila de casetones de arranque se construye como parte del muro. Existe un tercer hueco que sólo afecta a la plementería y cuya misión podría ser dar ventilación a una de las estancias perdidas que originó la construcción de la nueva sacristía.



Figura 3
Bóveda del Oratorio de San Felipe Neri (foto del autor)

En la construcción de los arcos de ambas salas se repite un despiece que resuelve las filas de casetones 1, 4 y 7, intercalando una dovela entre cruceros, mientras en el resto no se emplean piezas auxiliares —longitudinalmente la solución es la misma expuesta anteriormente—, aunque no parece una solución totalmente estandarizada, por cuanto las dimensiones de los brazos de los cruceros se modifican. Se desconoce el porqué de este cambio. Además en el Oratorio se observan algunas desalineaciones en el enrejado longitudinal.

Bóvedas del crucero (Mateo López, 1596-98)

Salvan una luz de 12,20 m mediante una rosca compuesta por 11 casetones y por 4 de fondo que arrancan sobre cornisa continua soportada por ménsulas en correspondencia con el nacimiento de los arcos. Sigue los mismos criterios constructivos de las anteriores —si bien con piezas de mayores dimensiones (1,69 m entre arcos y casetón cuadrado) y mayor descuelgue, sobre 251 mm (de 247 a 265)—, pero en este caso los arcos se solucionan con 0, 1 o 2 dovelas entre cruceros. Su trasdós cierra el espacio bajo cubierta, que se manifiesta a la nave mediante sendos pares de huecos de ventilación.

La inspección del trasdós de la bóveda se realiza accediendo al espacio bajo cubierta. El acceso al crucero norte se realiza desde el interior del edificio, pero lamentablemente el trasdós de la bóveda está oculto bajo la capa de hormigón que se colocó en las intervenciones de Pons-Sorolla[5]: sólo se aprecia el trasdós resaltado de lo que parece un arco de refuerzo situado próximo al muro, y que posiblemente se corresponda con el trasdós del arco que define el primer casetón. Se aprecia también que el arranque del muro que define la cúpula se realiza con un arco de refuerzo. También el relleno de senos de la bóveda está cubierto con hormigón.

Para acceder al trasdós del crucero sur hay que entrar desde el exterior, por una claraboya de la cubierta, que lleva al espacio sobre el techo del aula Juan Pablo II, y desde éste se llega al crucero. Lamentablemente la inspección no dio otra información más allá de constatar que el recrecido de hormigón era unos 20 cm más alto en la zona contigua al muro de la cúpula, que correspondería al recrecido de un arco similar al anterior y del espacio hasta el muro.

Bóveda policromada del retrocoro (Mateo López, 1596-98)

Está resuelta con 11 casetones para la rosca y 11 longitudinales, con las mismas características que las anteriores. Arranca sobre una cornisa continua que remata los revestidos muros laterales. Aparentemente parece la misma solución descrita anteriormente para las bóvedas del transepto, aunque policromada.

La luz libre salvada es de unos 12,20 m (unos 44 pies) medida a nivel del suelo, lo que conduce a un radio aproximado de 6,10. Con esto casetones de 1,74 m entre ejes. La distancia entre arcos es de 1,830 m, lo que da lugar a un casetón ligeramente rectangular

El remate contra el muro oeste está perfectamente resuelto, respetando el espesor de medio nervio (frente a lo que pasa en los brazos del crucero). Sin embargo, es apreciable del desalineamiento de ciertos tramos de los nervios longitudinales.

Si bien existen otras situaciones (de 0, 1 ,3), mayoritariamente los arcos se construyen con dos dovelas curvas entre cruceros. Salvo raras excepciones, los nervios longitudinales sólo con una dovela.

Inspección del trasdós.También recubierta de hormigón, sorprenden unos rollizos de madera que erizan el trasdós. Son *tapones* dispuestos para evitar la caída del hormigón fresco durante el hormigonado por los agujeros que taladran los plementos. Aprovechando que algunos habían sido retirados, se midieron los espesores del recrecido de hormigón (16 cm) y de la plementería (16 cm) en los agujeros, si bien se tienen algunas dudas sobre el límite exacto entre ambos materiales debido a la penetración del hormigón).

En el extremo hacia la cúpula se aprecia un arco resaltado a 1,20 m del muro que la cierra, arco que no se percibe por el intradós. También resulta perfectamente claro que el arranque del muro se realiza sobre un arco que dobla el de la propia bóveda. Si en el crucero norte es un arco de lajas, en este caso se realiza con dovelas con las caras exteriores sin labrar y dispuestas escalonadamente, como para permitir el engarce ante las dudas acerca de su ancho.

En la zona del muro testero que cierra la cabecera por el oeste y hacia la coronación de la bóveda, se encontró un rebajo rectangular de unos 24 cm en el recrecido de hormigón. ¡Resultó sorprendente comprobar que la plementería de la bóveda es en este

punto un tablón de madera! Por el intradós el tablón está pintado como el resto de la bóveda y es prácticamente indistinguible (salvo que las juntas están un poco abiertas), lo que conduce a la pregunta: ¿cómo es la plementería de la bóveda?

En la inspección se constató que dicho rebaje es el único que existe, constatación que introduce la pregunta de si existen más elementos de madera, pero Pons dejó únicamente uno accesible como botón de muestra o de si se trata de un caso único. Ni la inspección ni la revisión de las fuentes documentales derivadas de la intervención de Pons disponibles han permitido despejar esta duda [6].

Bóveda de la nave de la iglesia (1627-1636)

La iglesia presenta una nave muy alta, con capillas laterales muy bajas, por lo que históricamente el contrarresto de los empujes fue problemático: sus muros presentan una inclinación apreciable. Existió inquietud sobre su estado quizás hasta 1652 en que Peña de Toro amplía los contrafuertes de la nave. No obstante, no se tiene constancia de movimientos contemporáneos, quizás motivado también por el recrecido de hormigón de la bóveda y nervios sobre los estribos que le colocó Pons-Sorolla a la bóveda en 1978.

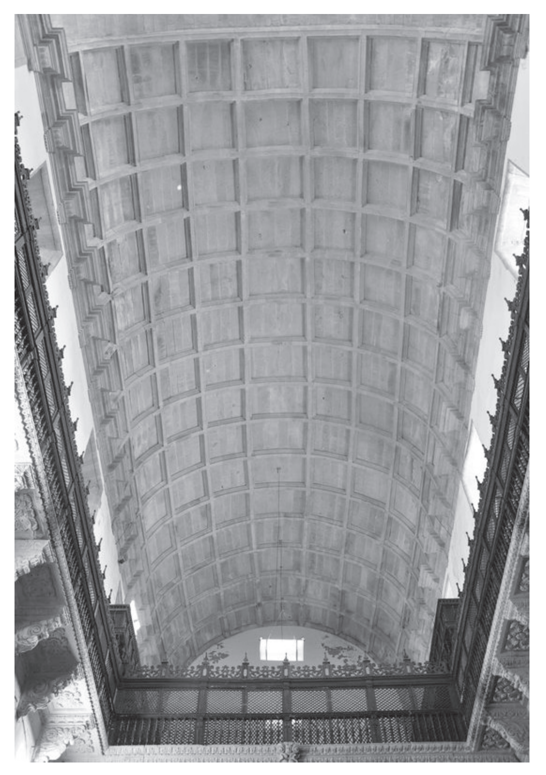


Figura 4
Bóveda de la nave de la iglesia (foto del autor)

Con más de 12 m de luz libre (12,10 medidos en coro alto), la bóveda se alza hasta los 28 m sobre el nivel de pavimento. Arrancan de una cornisa quebrada longitudinal que resigue las ménsulas de apoyo de los arcos transversales.

Se resuelve con 9 casetones transversales para formar la rosca por 15 longitudinales. Con este reparto los casetones son aproximadamente cuadrados (ligeramente rectangulares con los horizontales como lados cortos) y de dimensiones algo mayores (se reduce de 11 a 9 el número de ellos con los que se construye la rosca), aumentando también el descuelgue de los nervios (que son de labra algo más sencilla y esquemática) hasta los 320-331 mm.

En el despiece de los arcos se emplean de 2 a 4 dovelas entre cruceros —quizás de intradós recto— mientras que en los nervios longitudinales se emplea casi exclusivamente una pieza entre cruceros pese a su dimensión (unos 188 cm).

Los arcos transversales arrancan de una cornisa quebrada similar a de las capillas, pero en este caso la moldura inferior de este pseudo entablamento no es recta, sino que se quiebra también bajo las ménsulas de apoyo de los arcos.

Inspección del trasdós.Para realizar la inspección del trasdós fue preciso acceder desde una claraboya exterior próxima a la cumbrera que se alcanza subiendo por la cubierta desde las torres.

La primera diferencia reseñable es lo apretado del espacio que queda entre extradós y cubierta, no siendo posible ponerse de pie y debiéndose desplazar agachado. Inmediatamente se aprecian ¡una serie de arcos resaltados que se intuyen coincidentes con los nervios transversales de la bóveda. Las piezas de este conjunto no son uniformes, sino que existe una serie de *dados* pétreos —como si de claves se tratase— que se identifican con los cruceros, entre los que se disponen piezas pétreas superiores, varias de ellas claramente reutilizadas —como se desprende de la labra que presentan— y algunas nítidamente independientes de la superficie de hormigón. Aunque la



Figura 5
Arcos resaltados del trasdós de la bóveda de la nave de la iglesia (foto del autor)

capa de hormigón impide asegurarlo sin ningún tipo de dudas, parece un sistema de arcos con dos roscas independientes —en casos separadas— y sólo conectadas en las claves-cruceros.

Los arcos resaltan unos 38 cm sobre el nivel del recrecido de hormigón. Cuentan con un ancho de 22 cm y una distancia libre entre caras de arcos contiguos de 182 cm, lo que significa un intereje de 204 cm. Los dados pétreos resaltados tienen unas dimensiones del orden de 40 x 40 x 80 cm^3.

Tampoco en este caso la revisión de las fuentes documentales derivadas de la intervención de Pons-Sorolla aportó ninguna referencia a este hecho.

La observación del intradós de la bóveda revela la variación del ancho del casetón central a lo largo de la directriz de la bóveda: si en ambos extremos los casetones que construyen la rosca tienen aproximadamente el mismo ancho, en la zona central se vuelven apreciablemente más anchos —es muy apreciable a partir del sexto casetón desde el este—. Esto provoca una modificación de las alineaciones de los nervios longitudinales especialmente evidente en la segunda rosca de casetones desde el este. En varios de los arcos teóricamente de medio punto se identifican zonas aplanadas que quiebran la directriz. Y también son visibles una serie de eflorescencias y depósitos de sales que afectan a las dos filas de casetones a partir de ambos arranques, que corresponden con la zona de la bóveda rellena o solidaria con el muro. Y en la parte norte de algunos de los arcos centrales, se aprecian grietas de riñones rellenas de mortero. Exteriormente en el muro aparecen restos de antiguas cornisas, que sugieren que se aumentó la altura del muro… ¿se trata tal vez de una bóveda que fue construida ajustándose a una planta deformada por los movimientos de los muros? Las pequeñas dovelas intercaladas en los arcos ¿son piezas de ajuste para adaptar la directriz teórica del arco a la situación de obra?

Bóveda de la Theca —capilla de las Reliquias— (Fray Gabriel de las Casas, 1694)

Se trata de una estancia de unos 4,65 x 8,50 m² cubierta con una bóveda de cañón enrejada por cruceros con directriz de medio punto, muy posterior a las anteriores. Está resuelta en sillería de granito policromada (al fondo se encuentra sin colorear una franja), sobre cornisa quebrada que resigue las ménsulas de apoyo de los nervios transversales de la bóveda, soportada por muros revestidos. Presenta un despiece de 7x7 casetones rectangulares de lado mayor horizontal, pero de dimensiones muy inferiores a los anteriores.

Constructivamente no sigue el patrón de las anteriores: se despieza con cruceros sin brazos —una suerte de claves cuadradas— entre los que se dispone una única pieza en cada dirección. La plementería se resuelve con dos piezas labradas (con un botón central) y coloreadas por cada casetón. En este caso apa-

rentemente se ha estandarizado la construcción de los nervios de la bóveda, si bien hay múltiples soluciones de talla sobre la plementería.

Lamentablemente no se ha tenido acceso a su trasdós, que soporta el solado de una sala de exposición.

Aproximación al comportamiento mecánico de la bóveda

Se estima que hoy el trasdós levanta en la cabecera 2,97 m sobre el relleno de los riñones, lo que lleva a estimar una apertura sin relleno de 2x56º descontando el espesor de hormigón añadido por Pons Sorolla.

Como se ha señalado, constructivamente los plementos apoyan en los arcos transversales de la bóveda. Si bien en coronación este apoyo es horizontal, se va inclinando al descender hacia los apoyos de la bóveda. La condición de no deslizamiento de estas piezas inclinadas es que

$$\mathrm{tg}\,\alpha \leq \mu$$

Donde α es la inclinación de la sección transversal de los plementos —básicamente rectangular— y μ es el coeficiente de rozamiento estático granito-granito. Si se admite que un valor adecuado es $\mu = 0,5$ —valor tradicional en el cálculo de puentes de fábrica del s XIX que incluye un cierto coeficiente de seguridad (Huerta 2004, 15-17)—, no se produciría deslizamiento hasta una inclinación superior a $\alpha = 26,56°$ —el valor de 0,65 propuesto por Rennie para el granito aumenta la inclinación a 33º—. Sólo por encima de estos ángulos es necesaria la transmisión anular de esfuerzos para garantizar la estabilidad de la bóveda.

De acuerdo con lo anterior, prácticamente toda la plementería de los cinco casetones centrales de la bóveda —los carentes de relleno en la actualidad— podría estar trabajando exclusivamente en flexión, sin transmisión anular de compresiones entre plementos. Además la presencia de piezas de madera actuando como plementos descubierta avala esta posibilidad al menos en la parte superior de la bóveda. Existen otros ejemplos que confirman esta hipótesis, como por ejemplo la bóveda del Refectorio del Monasterio de Monfero, que presentaba —antes de su rehabilitación— la superficie perforada en varios puntos como consecuencia del desprendimiento de algunas piezas de los nervios longitudinales, hecho que imposibilitaba la transmisión de compresiones anulares, por lo que un mecanismo resistente posible sería la respuesta en flexión de los plementos y la transmisión de los esfuerzos por los arcos al menos en su parte superior.

La luz libre medida en los brazos del crucero es de 12,20 m. Suponiendo este mismo valor para el retrocoro y suponiendo como canto la suma del descuelgue de los nervios y el espesor de la plementería —dado que se ignoran las dimensiones de la cola— se tiene una relación del espesor al radio t/R= 6,84%; para una apertura de 72º —la que resulta de descontar el casetón de arranque—, del gráfico de Heyman (1995, 30 o 40) deriva un espesor mínimo de 0,04736.R. Esto conduce a un coeficiente geométrico de seguridad 1,444, valor que afortunadamente incrementa la existencia del relleno, que sube otros 16º por encima de este punto.

Para que este mecanismo resistente alternativo al de las bóvedas de cañón sea viable, es necesario comprobar la resistencia mecánica de los plementos funcionando a flexión simple.

Suponiendo para el granito un peso específico de $\gamma = 28\,\mathrm{kN/m^3}$, para el espesor medido de $t = 160\,\mathrm{mm}$ y suponiendo un ancho transversal de 1,00 m, resulta un peso por unidad de longitud de $p = 4,48\,\mathrm{kN/m}$. El módulo resistente es

$$W = b \cdot t^2 / 6 = 4,27 \cdot 10^3\ \mathrm{m}^3$$

Suponiendo una distancia entre apoyos de 1,830 m —la correspondiente a la distancia entre arcos de la cabecera, bóveda a la que pertenecen el resto de las medidas adoptadas—, el momento flector isostático resulta ser

$$M = q \cdot l^2 / 8 = 4,48 \cdot 1,83^2 / 8 = 1,8754\ \mathrm{m\ kN}$$

lo que conduce a una tensión normal de

$$\sigma = M / W = 0,44\ \mathrm{MPa}$$

Que es un valor bajo para un granito (que puede tener una tensión de rotura por flexión próxima a 10 MPa, con valores seguros de 3,33 MPa; es más, con este espesor tampoco tendría problemas la situación de los plementos de la nave).

Las reflexiones anteriores avalan la viabilidad del comportamiento estructural alternativo descrito.

Otras referencias

Repartidas por la comunidad existen otras bóvedas enrejadas, lo que pone de manifiesto la difusión de esta solución constructiva. La relación no pretende ser exhaustiva, sino que pretende recoger ejemplos de distintas variantes.

El Monasterio de S. Salvador de Celanova (Celanova, Ourense) cuenta con cuatro bóvedas enrejadas por cruceros[7], adyacentes dos a dos, correspondientes a la Sacristía (7x? casetones), y sala aneja, al zaguán (7x7 casetones) y al vestíbulo de la escalera principal (5x5 casetones), datadas antes de 1590. Si bien transversalmente se construyen con un número impar de módulos, todas son de directriz carpanel —oval— similares a las que dibuja Viollet-le-Duc ([1854-1868] 1996, 120 figura 74) y aunque aquéllas de los vestíbulos son de sillería de granito vista (la del vestíbulo tiene labrados los casetones de la tercera fila y tercera columna, con un pinjante en el casetón central) mientras que en el grupo de la Sacristía están policromadas y la piedra no es visible: los descuelgues de los nervios está coloreado en rojo y el resto en blanco (encalado) y la proporción entre nervio y casetón resulta diferente a simple vista.

Refectorio del Monasterio de Santa María de Monfero (Monfero, A Coruña): Construido en entre 1579 y 1619 (Castro Álvarez 2011), está situado al sur del Claustro Reglar. Contó con una bóveda enrejada que se conserva sólo parcialmente. La bóveda, fechada hacia 1611, está compuesta por 8 casetones transversales, conservándose 2 y 4 casetones de fondo en los extremos. Se construye con cruceros cortos, con una única dovela entre ellos. Uno de los cruceros de la coronación cuenta con un pinjante labrado. Los arcos transversales se independizan de los muros a partir del segundo casetón.

El apoyo entre dovelas de los arcos transversales se realiza por contacto sin ninguna solución especial. Transversalmente parece ocurrir lo mismo por cuanto antes de la restauración se apreciaban piezas giradas.

Santa María de Oza (A Coruña) Antigua parroquial, cuya capilla norte (añadida en el s. XVII) cuenta con una bóveda enrejada de medio punto con plementería de losas de granito compuesta por 4x4 casetones.

Capilla de la iglesia parroquial de Santa Mariña de Castro, Antas de Ulla, Lugo. La capilla adosada al norte —quizás anterior a 1648 (García Iglesias 1990, 227)— presenta una bóveda ochavada por cruceros —según denominación de Vandelvira refrendada por Palacios (2003)—. Cada lado resuelve su ancho con casetones cuyos nervios arrancan de una cornisa quebrada por las ménsulas de apoyo de los nervios. Esta cornisa está fracturada en las zonas de huecos.

Coro alto de San Estevo de Ribas do Sil (Nogueira de Ramuín, Ourense). Extraña solución de sendos grupos —uno por cada nave lateral— de bóvedas *por arista* enrejadas: a unas pequeñas bóvedas por arista se le superpone un enrejado (5x5 casetones) que arranca de una cornisa quebrada y engloba también al arco entre pilares. Hacia la nave mayor se pueden apreciar las cajas previstas en los cortos brazos de las piezas de crucero. Se trata de una solución que no figura entre las de Vandelvira

El profesor Fernández Salas informó de otras tres variantes de la solución:

Capilla del templo parroquial de la Asunción de Brozas (Cáceres). Formada por 8 x 3 casetones, con nervios de granito y plementería de ladrillo. Los arcos transversales se forman exclusivamente con cruceros, sin piezas intermedias, mientras perpendicularmente se emplea una pieza recta por casetón, dado que el crucero apenas avanza en este sentido. La plementería de la foto está resuelta con bóveda de ladrillo de rosca extremeña sin cimbra, tipo bizantino.

Bóveda del nártex del monasterio de O Divino Salvador de Moreira (Maia, Portugal 1588-1622). Sorprendente bóveda plana de 7x3 casetones, realizada toda ella en sillería de granito. En el sentido corto, la pieza central resuelve dos cruceros; longitudinalmente se emplea una pieza complementaria entre cruceros. La nave de la iglesia de este monasterio cuenta con lo que parece ser otro ejemplo: bóveda de cañón enrejada por cruceros, formada por nueve transversales y más de 16 longitudinales, con nervios de granito y plementería revestida quizás de mampostería—. Las fotos del trasdós permiten comprobar que los nervios resaltan ligeramente del resto de la bóveda.

Esta iglesia llevó a pensar en la Iglesia del Monasterio de San Julián de Samos (Samos, Lugo), obra de Fray Julián Vázquez entre 1733-1748 (Franco y Tarrío 2002), con una apariencia similar, si bien en este caso la bóveda —también de cañón y con 9 casetones para la rosca— está punteada cada cuatro casetones por un arco fajón. Cuenta además con sendos ventanales por tramo, que 2x2 casetones de arranque centrales. Los casetones de coronación cuentan con una pieza pétrea resaltada a modo de clave.

Conclusiones

Pese a ser del mismo tipo —bóvedas de cañón enrejadas por cruceros rectos— las bóvedas de San Martín Pinario presentan diferencias apreciables en el despiece empleado, que en todo caso se separan del planeamiento de Vandelvira.

Las bóvedas se despiezan con un número impar de casetones que tienden al cuadrado. Salvo en la Theca, se construyen con piezas de crucero de brazos curvos largos y apenas los arranques en sentido transversal. Entre estos cruceros se interpone una pieza recta en el sentido longitudinal de la bóveda para formar el casetón y un número variable (0, 1, 2, 3… pero generalmente 1) en el transversal. Las realizaciones no llegan a agotar las posibilidades de estandarización del sistema.

La ausencia de compresiones en el sentido longitudinal de la bóveda ha llevado a emplear un apoyo en caja en esta dirección.

Se ha encontrado una situación en que la plementería está compuesta por un tablón de madera, sospechándose que no es el único caso. Otras situaciones de bóvedas conocidas del mismo tipo han llevado a idear un mecanismo resistente alternativo al comportamiento de bóveda para la parte superior, basado en un sistema de arcos transversales sobre los que apoyan los plementos trabajando a flexión.

Es sorprendente el sistema de construcción de la bóveda de la nave, con una suerte de arcos resaltados de dos roscas trabadas en los cruceros. Quizás este hecho sea debido a los problemas estructurales que tuvieron sus muros.

Se constata el empleo de técnicas derivadas de la construcción gótica a lo largo del territorio gallego con distintas soluciones y variantes.

Agradecimientos:

A D. José Rama Liste, por todo el tiempo pasado en las cubiertas.

Notas

1. Durante 60 años, desde que Felipe II fuese proclamado rey de Portugal en 1581 hasta su independencia el 1.12.1640, todos los reinos hispanos pertenecieron a la misma corona.
2. Atribuciones y cronología de acuerdo a López Alsina (2003).
3. De la bóveda de cañón enrejada de la nave de la iglesia, Palacios señala (2005, 105) que se trata de una bóveda «por cruceros cuadrados».
4. Como referencia se toma para el pie una dimensión de 27,86 cm de acuerdo con la Pragmática promulgada en 1568 por Felipe II.
5. Estas intervenciones están referidas en la tesis doctoral de Castro Fernández (2007)
6. Se han consultado las referencias que aparecen el libro escrito por el aparejador de las obras, Gabriel López Collado (1976), y la documentación de las intervenciones que se conserva en el Archivo Histórico Diocesano de Santiago (Fondo Seminario Conciliar de Santiago, Número 1309 Fecha 1970-1993 s/d.
7. La Dr. Goy (2005) indica que en las bóvedas de San Martín y en la de la sacristía de Celanova, Mateo López introdujo (en Galicia) este sistema de abovedamiento. Sin embargo hay notorias diferencias entre ellas.

Lista de referencias

Castro Álvarez, Carlos de. 2011. *Monasterio: Santa María de Monfero*. A Coruña: Espino Albar.

Castro Fernández, Belén Mª. 2007. *Francisco Pons-Sorolla y Arnau, arquitecto-restaurador*. Universidade de Santiago de Compostela: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.

Franco, J.A., Tarrio, S.B., directores. 2002. *Monasterios y Conventos de Galicia. Descripción gráfica de los declarados monumentos*. Santiago de Compostela: U.d.C.-Xunta de Galicia.

Franco J.A.; Valcárcel J.P.; Freire Tellado, M.; Tarrío S. 2006. Vaults and other constructive singularities of the Monastery of San Martiño Pinario. *Proceedings of the Second International Congress on Construction History.* Edited by Malcolm Dunkeld et alli, University of Cambridge, Vol 2, pp. 1155-1169.

Freire-Tellado, Manuel J. 2017. Descripción y caracterización de los sistemas constructivos y estructurales del Monasterio de San Martín Pinario. Santiago de Compostela. Xunta de Galicia. Dirección Xeral do Patrimonio Cultural.

Heyman, J. [1966-1969] 1995. *Teoría, historia y Restauración de Estructuras de Fábrica.* Madrid: CEHOPU-Instituto Juan de Herrera-CEDEX.

Huerta, Santiago. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera-CEHOPU.

García Iglesias, José Manuel. 1990. *Galicia: Tiempos de barroco*. Santiago de Compostela: Caixa Galicia.

Goy Díaz, Ana. 2005. El resurgir de los monasterios en el Renacimiento. En López Vázquez, J.M. coordinador. 2005. *Opus Monasticorum. Patrimonio, Arte, Historia y Orden*. Xunta de Galicia, pp. 99-166.

López Collado, Gabriel. [1976] 1985. *Ruinas en Construcciones antiguas. Causas, consolidaciones y traslados (3ª Ed.)*. Madrid: Miján Artes Gráficas, Ávila.

López Alina, Fernando, director. 2003. *Estudio Histórico Artístico del Plan Director del Monasterio de San Martíño Pinario*. Autorías: López Alsina, F. (capítulos 1, 10 y conclusiones), Goy Diz (capítulos 2, 3 y 6-9), Freire, A. (recopilación de las fuentes documentales, capítulo 4) y Pensado, N. (inventario de bienes muebles pertenecientes al monasterio, capítulo 5), complementadas con el documento *Fases Constructivas* del mismo Plan.

Palacios Gonzalo, José Carlos. 2003. *Trazas y Cortes de Cantería en el Renacimiento español*, Madrid: Munilla--Lería.

Palacios Gonzalo, José Carlos. 2005. Estereotomía clásica y cantería gótica en Galicia. *Actas II Congreso Internacional Antiguos espacios para nuevos tiempos. El material pétreo y sus fábricas en el patrimonio,* pp. 91-119. Santiago de Compostela: Consorcio de Santiago.

Vandelvira, Alonso de. [ca 1650] 1977. *Libro de traças de cortes de piedras compuesto por Alonso Van de Elvira, arquitecto maestro de cantería: compónese de todo género de cortes, diferencias de capillas, escaleras, caracoles, templos y otras dificultades muy curiosas*, ca. 1650. en Barbé-Coquelin de Lisle, G. 1977. El tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira. Ed. Facs. Albacete: Caja de Ahorros Provincial.

Viollet-le-Duc, E. [1854-1868] 1996. *La construcción medieval. El artículo «Construcción» del Dictionaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle* (Édition BANCE-MOREL). Editado por E. Rabasa y S. Huerta. Instituto Juan de Herrera-CEHOPU-CEDEX. Madrid.

La construcción de bóvedas ligeras en Bélgica 1830-1940

Paula Fuentes
Ine Wouters

A partir del siglo XIX, con la introducción de los nuevos materiales, principalmente hierro y hormigón armado, se produjo un cambio significativo en la construcción, y poco a poco se fue abandonando la construcción de bóvedas. Sin embargo, antes del Movimiento Moderno, en la época del historicismo, las bóvedas seguían utilizándose en iglesias y edificios representativos. En los manuales y tratados de la época, las técnicas más tradicionales se incluían junto con las más modernas y no es extraño, incluso bien entrado el siglo XX, encontrar capítulos dedicados a la construcción de bóvedas.

La búsqueda de la economía en la construcción se hizo especialmente necesaria en los períodos de posguerra, en los que además hubo que reconstruir numerosos edificios históricos. Se recuperan técnicas tradicionales de construcción de bóvedas ligeras y sin cimbra y se incorporan las posibilidades de las nuevas técnicas. Incluso se patentan sistemas de construcción de bóvedas.

Este artículo aborda la construcción de bóvedas ligeras y sin cimbra entre mediados del siglo XIX y mediados del siglo XX en Bélgica, uno de los países pioneros en la revolución industrial, considerando su presencia en los tratados de construcción, las patentes desarrolladas y algunos de los edificios construidos.[1]

Bóvedas por hojas

El origen de la construcción de bóvedas sin cimbra se sitúa en Oriente Medio, hacia el 2000 a.C. (Huerta 2007). La conocida como construcción por hojas consiste en construir un primer arco con los ladrillos colocados verticalmente con la tabla contra un muro en cabeza. Apoyando los arcos sucesivos en los construidos anteriormente, se va formando una bóveda de cañón (Besenval 1984). Los ladrillos se colocan en posición vertical o con una ligera inclinación para aumentar el rozamiento. La técnica de construcción por hojas se desarrolló principalmente en el área mediterránea, pasó a Bizancio, donde se utilizó de manera sistemática, no sólo en bóvedas de cañón sino en bóvedas más complejas (Choisy 1883), y posteriormente se difundió por el continente europeo. Durante la Edad Media este sistema se utilizó a menudo en bóvedas de crucería para construir las plementerías de ladrillo, necesitándose así cimbras únicamente para los nervios, que podían ser de ladrillo o de piedra. El aparejo es fácilmente reconocible cuando el ladrillo queda visto. La técnica se siguió utilizando y en el siglo XIX los manuales y tratados europeos la recogen a menudo (Wendland 2007). Un caso que cabe destacar es el del arquitecto alemán J. C. Lassaulx, que en 1829 publica un ensayo describiendo este sistema constructivo después de estudiar las bóvedas medievales. Lassaulx lo utilizó además en la construcción de varias iglesias (Wendland 2003). Incluso en el siglo XX, las bóvedas por hojas se han utilizado en la reconstrucción de edificios derribados en las dos guerras mundiales (Enthoven 1946).

En Bélgica, la construcción de bóvedas por hojas aparece a menudo en los manuales, haciendo en ocasiones referencias directas a tratados franceses. Este

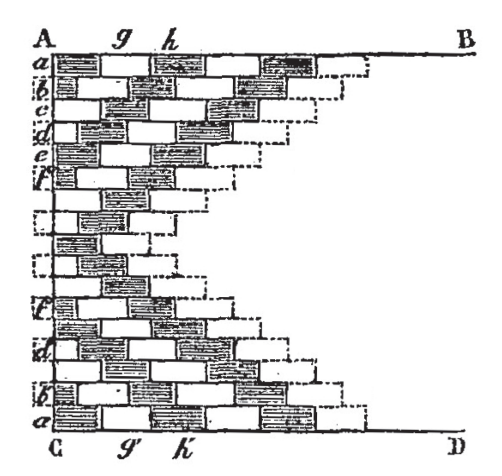


Figura 1
Construcción de bóvedas sin cimbra por zonas oblicuas (Claudel y Laroque1859, fig. 89)

es el caso de Charles Armand Demanet (1808-65), ingeniero belga y profesor en la *École Militaire de Bruxelles*, que en su *Guide pratique du constructeur* describe las bóvedas sin cimbra:

> Aunque el uso de cimbras es la regla para la ejecución de bóvedas grandes y pequeñas, esta regla admite excepciones. Así es como se han ejecutado algunas bóvedas muy grandes sin cimbras, usando morteros muy rápidos que, al fraguar casi instantáneamente, unían los materiales sólidamente de manera que cada semi bóveda se podía construir en voladizo, usando sólo cerchas para controlar la forma; pero son sólo raras excepciones y de alguna manera, una verdadera hazaña.[2] (Demanet 1864, 141)

Demanet explica un primer caso, descrito por Claudel y Laroque en su *Pratique de l'art de construire* (y que prácticamente transcribe en su tratado, incluida la figura explicativa) en el que las bóvedas se construyen «por zonas oblicuas» (Demanet 1864, 141-143; Claudel y Laroque 1859, 427-429). Afirma que es un tipo muy empleado en París.

Explica también el caso particular de las plementerías de bóvedas góticas, que se pueden construir sin cimbra una vez terminados los arcos, incluso con morteros de fraguado lento, disponiendo las juntas perpendicularmente a la bisectriz que forman el arco diagonal y el arco formero o transversal (figura 2b, parte inferior, figura 3). Esta es la técnica utilizada en las bóvedas de la iglesia de Notre-Dame de Laeken en Bruselas construidas por el arquitecto J. Poelaert y que Demanet explica con gran detalle. La plementería de las bóvedas es de medio ladrillo (0,10 m) de espesor, tomados con un mortero ordinario de cal y arena. Aunque no se utilizaron cimbras propia-

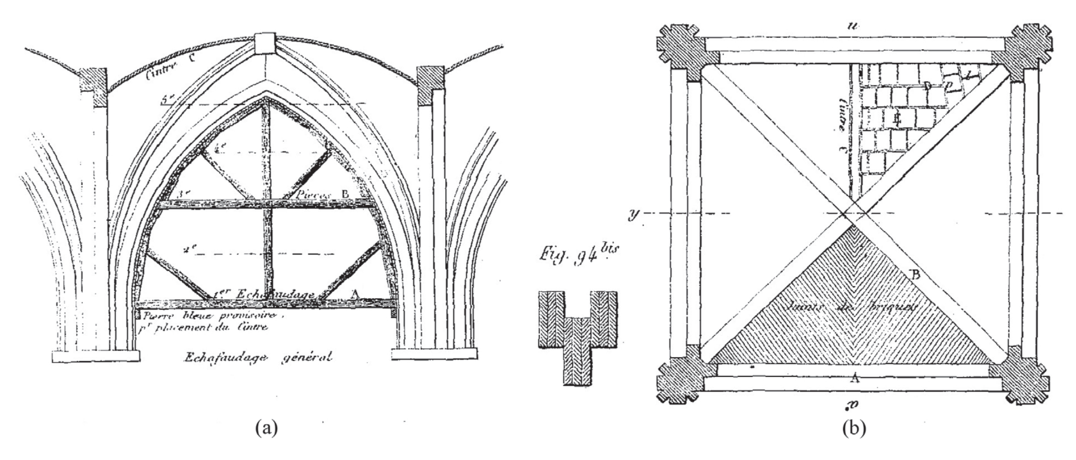


Figura 2
Bóveda de la iglesia de Notre-Dame de Laeken, Bruselas; (a) Sección con cimbra del arco perpiaño; (b) Planta; en la parte superior se representa el armazón ligero de madera utilizado para construir la plementería, en la parte superior el aparejo de ladrillo. En el centro (fig. 94bis) sección de la cimbra utilizada para los arcos diagonales, formada por varios tablones clavados entre sí (Demanet 1864, pl. XVI, figs. 94 y 95)

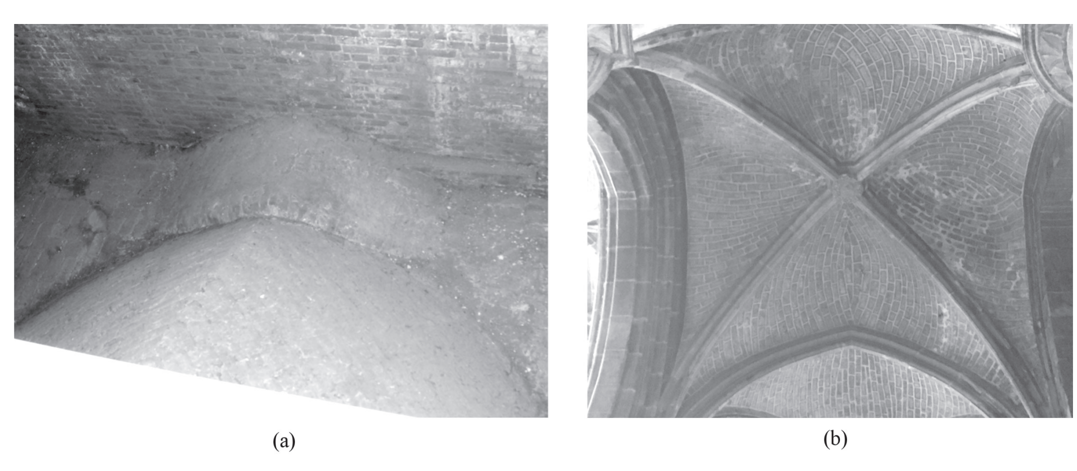


Figura 3
(a) Trasdós de una bóveda en la iglesia Notre-Dame de Laeken (Foto: R. Wibaut); (b) Bóveda en la iglesia colegiata de Notre-Dame de Dinant (Foto: P. Fuentes). En ambas se aprecia el aparejo característico de la construcción sin cimbra

mente dichas, sí usaron un esqueleto ligero de madera que sirve tanto de apoyo de los ladrillos, como para dar la forma (figura 2b, parte superior). Demanet describe la construcción de las bóvedas más grandes de la iglesia, las del transepto, con 10,50 × 10,50 m de luz, y aclara que para las otras bóvedas más pequeñas este esqueleto puede reducirse mucho, igual que las cimbras de los arcos. Demanet también destaca que mediante esta disposición de los ladrillos, se forma en cada paño de la plementería una bóveda autónoma que se apoya en el arco diagonal y el perpiaño (o el formero) y que confiere mayor solidez a la estructura que si estuvieran construidas a la manera tradicional, con las juntas paralelas a los ejes de la bóveda (Demanet 1864, 144-149).

Louis Cloquet (1849-1920) explica también el sistema «por diagonales» en su *Traité d'Architecture,* en el apartado de bóvedas de cañón sin cimbra y un

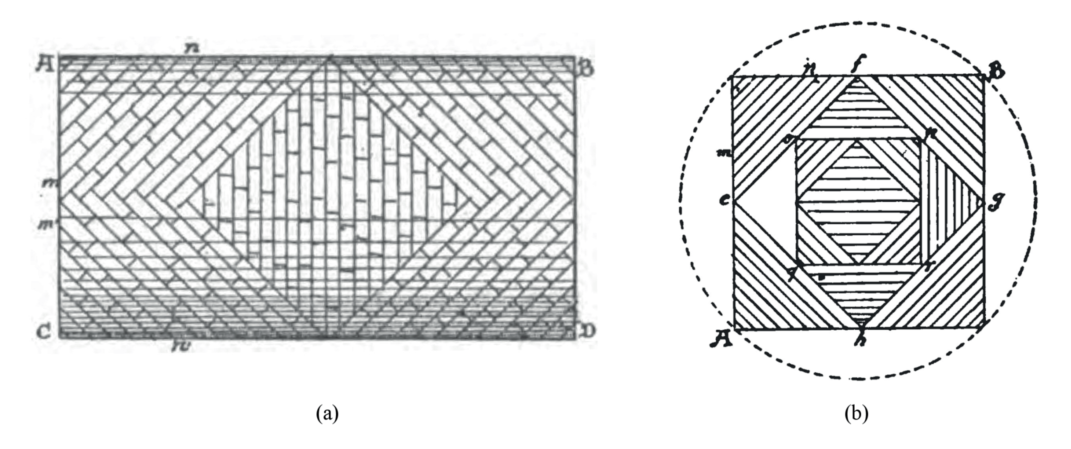


Figura 4
Construcción sin cimbra según Cloquet (1898). (a) bóveda de cañón (fig. 898); (b) bóveda esférica sobre planta cuadrada (fig. 899)

poco más adelante en «Bóvedas esféricas sobre planta cuadrada» (figura 4). Las hiladas se van colocando en las direcciones diagonales, y especifica que la cimbra puede ser muy ligera o incluso eliminarse (Cloquet 1898, 369-370).

Bóvedas de tubos huecos

La construcción de bóvedas con tubos huecos es una variante de la anterior, que utiliza tubos cerámicos en lugar de ladrillos macizos, usada desde la Antigüedad (Storz 1994, Lancaster 2015). Desde principios del siglo XIX se usan con cierta asiduidad, especialmente en forjados (como relleno de un entramado metálico). En los manuales se suelen incluir en el mismo apartado que los ladrillos huecos. En Francia, ya a principios de siglo, Rondelet (1814, 3:372) dice que esta solución ha sido adoptada con interés para la construcción de bóvedas ligeras y menciona una variedad en la forma y tamaño de los tubos (figura 5). En la *Pratique de l'art de construire* se cita la construcción de una bóveda de tubos huecos por Laroque en la iglesia de Bagnères-de-Luchon, con una luz de 14,50 m (Claudel y Laroque 1859, 448-449).

El uso de tubos huecos cerámicos se menciona para la construcción de bóvedas ligeras en los manuales belgas, aunque sin entrar en mucho detalle. Demanet (1861, 1: 93) y de Vos (1879, 13) los mencionan como una alternativa a los ladrillos huecos en la construcción de bóvedas ligeras.[3] Pese a que tradicionalmente estas bóvedas han sido una variante de la construcción sin cimbra, no se menciona explícitamente.

A finales de siglo se utilizan también ladrillos huecos moldurados (figura 6) para la construcción de bóvedas góticas (Barré 1896, 588). Las plementerías entre los nervios se construían con ladrillos huecos muy delgados colocados de plano. Estos ladrillos serán utilizados también en el sistema Fabre, que se explica más adelante.

Bóvedas tabicadas

Otro de los sistemas de construcción sin cimbra es la bóveda tabicada. Los ladrillos, que deben ser ligeros (rasillas) se colocan de plano y se toman con yeso. El rápido fraguado del mortero hace innecesaria la cimbra. El desarrollo particular de la bóveda tabicada ha sido muy estudiado en España, donde su primer empleo conocido se sitúa en Siyasa en el siglo XII (Almagro 2001) y se ha estado utilizando hasta el mismo siglo XXI por su economía y rapidez de construcción. Quizá el caso más llamativo es la figura de Guastavino, arquitecto valenciano que emigró a Estados Unidos, donde construyó (primero él y después su hijo) cientos de bóvedas tabicadas.

También en Italia la bóveda tabicada se ha utilizado en la arquitectura tradicional. Se conoce el uso de las bóvedas *en folio* desde el Renacimiento, que se encuentran presentes en distintas zonas del país (Frattaruolo 2000).

Lo que quizá no es tan conocido, es la transferencia de este tipo de bóvedas a Centroeuropa. Probablemente desde Cataluña, la bóveda tabicada pasó a Francia donde se utilizó con frecuencia desde el siglo

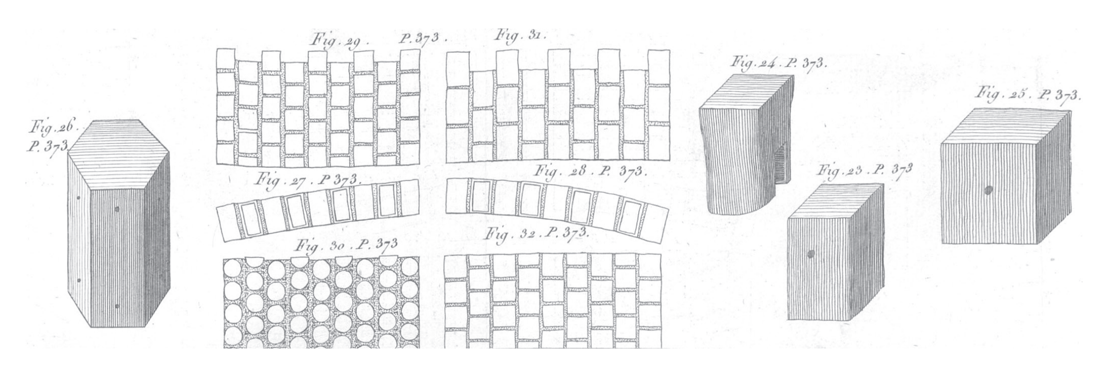


Figura 5
Tubos huecos usados en la construcción de bóvedas ligeras (Rondelet 1814, lam. 92)

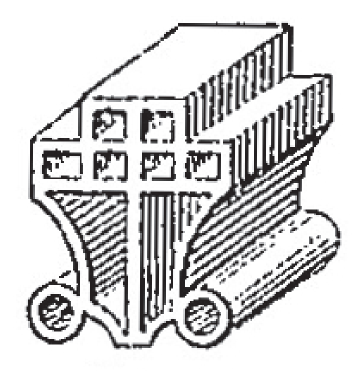
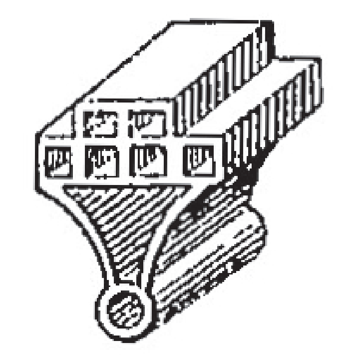
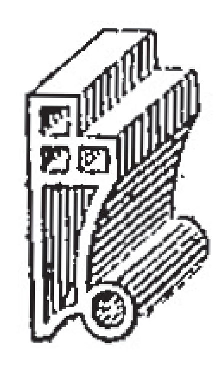




Figura 6
Ladrillos huecos Pothin para la construcción de bóvedas góticas; (a) arco perpiaño; (b) arco diagonal; (c) arco formero (Barré 1896, 588, figs. 496-498)

XV. En 1754, el conde d'Espi escribió un libro sobre bóvedas tabicadas que influirá de manera decisiva en el uso de la bóveda tabicada, dándola a conocer en toda Francia. En este libro se plantea por primera vez que las bóvedas tabicadas son «monolíticas» y por lo tanto, no empujan.[4] Esta afirmación se repetirá en gran parte de la literatura posterior. La recogen algunos de los tratados de construcción más importantes (Blondel y Patte 1777; Rondelet 1802), que hablan extensamente sobre la bóveda tabicada. El sistema se utilizó hasta mediados del siglo XX, aunque a partir de mediados del siglo XIX se redujo su uso, especialmente en edificios importantes, por la aparición de los nuevos materiales (Abraham 1941:38). Ya en los años 1940, Pol Abraham hace una defensa entusiasta de la construcción tabicada. Ante la escasez de cemento, hierro y madera, defiende la construcción de forjados con bóvedas rebajadas en lugar de hormigón y compara los costes de los dos sistemas, llegando a la conclusión de que el de hormigón es sustancialmente más caro, además de requerir más tiempo para su construcción (Abraham 1941: 39).

La técnica tabicada llegó a Alemania de mano de la constructora de los hermanos Rank, entre 1945 y 1970, conocedores de la técnica por sus viajes a España. El arquitecto de origen italiano Carl Sattler también tuvo conocimiento de la construcción tabicada a través de sus viajes a Italia y construyó varias bóvedas entre ellas las del Landeszentralbank en Munich (1948–1951) junto a uno de los hermanos Rank (Huerta 2017; Bühler 2017).

En Bélgica, Demanet (1847) y N. de Vos (1879) mencionan en sus respectivos *Cours de construction* la posibilidad de construir bóvedas colocando los ladrillos de plano. Demanet (1847, 1: 216) describe la construcción de bóvedas muy rebajadas, con una o dos hojas de ladrillos tomados con yeso o mortero hidráulico. También señala que el uso de ladrillos huecos es muy ventajoso para este tipo de bóvedas, y menciona que se ha usado mucho en los edificios públicos de París. Parece que salvo estas referencias, no era una construcción habitual en Bélgica, hasta alrededor de 1900, donde probablemente las introduce Charles Daussin, de la mano de A. Fabre. Daussin fundó una constructora especializada en la construcción de este tipo de bóvedas, con mucha actividad en edificios de gran importancia entre 1900 y 1940, aproximadamente, y que construyó bóvedas en Bélgica, Francia y Alemania.

Constructores de bóvedas y patentes: Fabre y Daussin

La compañía francesa de A. Fabre, fundada en 1896 y que luego continuarían sus hijos, construye numerosas bóvedas con el sistema de *voûtes légères en briques creuses*, más de 1500 iglesias y capillas, según su propia publicidad (figura 7). Cunha (1900) explica este sistema como algo novedoso y que se adapta muy bien a la construcción contemporánea:



Figura 7
Anuncio publicitario de la empresa de Auguste Fabre (Algérie Catholique 1936, 7:2)

> Las nuevas bóvedas que vamos a describir tienen todas las cualidades requeridas por las necesidades del siglo en que vivimos; se ejecutan muy rápidamente, son económicas y seguramente tienen la fuerza suficiente para sobrevivir a los monumentos construidos con piedra blanda y poco duradera actualmente en uso. (Cunha 1900, 71).[5]

Destaca las cúpulas construidas por Fabre en el Petit Palais, para la Exposición Universal de 1900. Las cúpulas tienen varias hiladas de ladrillo colocados de plano hasta conseguir un espesor de entre 12 y 15 cm, teniendo la cúpula principal 24 m de luz. La empresa de Fabre construirá mucho en Francia, y alrededor de 1930 tienen también una sede en Argelia. Este sistema fue patentado en Bélgica en 1905 (Ministère de l'Industrie 1905). Fabre publicita sus bóvedas como bóvedas sin empujes, lo que será criticado por Pol Abraham: «La compañía Fabre, bajo el falaz nombre de bóvedas sin empuje, ha ejecutado miles de bóvedas de iglesias en ladrillos de sólo 4 cm de espesor.» (Abraham 1941: 40).[6]

En 1935, probablemente un hijo de A. Fabre, Louis Fabre, patenta otro sistema: *système de voûtes porteuses de toitures* (bóvedas que soportan un tejado), donde explica que la patente se aplica a las «bóvedas ligeras conocidas después de muchos años como ‹bóvedas sistema Fabre›».[7] Según el texto explicativo, estas bóvedas se construyen con ladrillos huecos de 4 a 5 cm de espesor y tienen gran ligereza y resistencia. Normalmente, cuando las bóvedas son grandes se refuerzan con arcos de los mismos ladrillos pero colocados de canto, y distanciados 2 ó 3 m, y que trabados con la fábrica de la bóveda, sobresalen 20 ó 30 cm por el trasdós. El objetivo de la patente de Louis Fabre es poder utilizar estas bóvedas para apoyar el tejado. Así, el sistema consiste en construir dos arcos de ladrillo distanciados de 20 a 30 cm, y usarlos de encofrado para un arco de hormigón armado, que descenderá hasta el arranque de la bóveda. Los dos arcos de ladrillo se unen mediante otros ladrillos colocados verticalmente en el interior (6'' en figura 8), y una fila de rasillas horizontales en la parte superior (7 en figura 8). Este sistema se repetirá cada 4 m, aproximadamente. Sobre estos muros se apoyan las vigas que forman la estructura del tejado (8 en figura 8). Los muretes de ladrillo se prolongan verticalmente para apoyar las correas del tejado. En la parte superior se construirá una viga de hormigón armado utilizando dos muretes de ladrillo y la propia bóveda como encofrado y que une todos los arcos de hormigón (10 en figura 8). Finalmente se abrirán huecos en los muros de ladrillo para permitir el paso bajo el tejado. Louis Fabre especifica que este sistema se puede usar para cualquier forma de bóveda: de medio punto, ojival, parabólica, etc. (Fabre 1936).

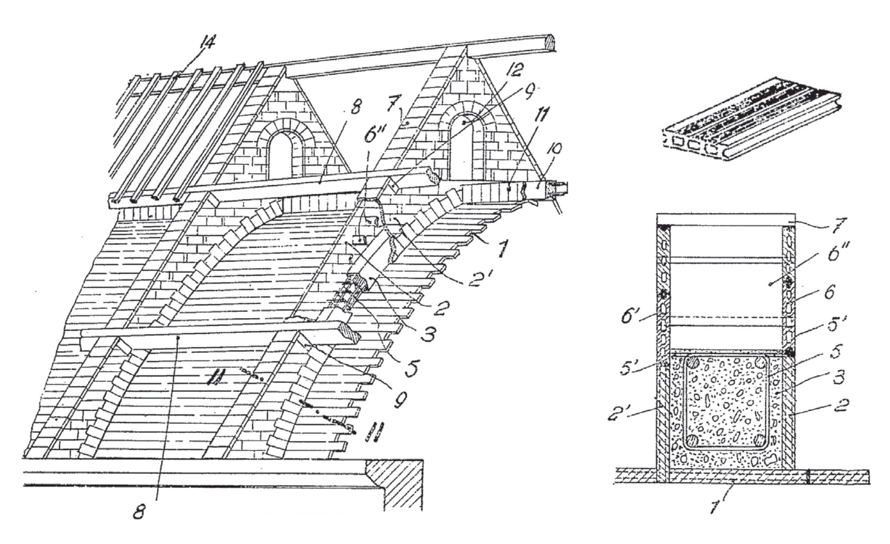
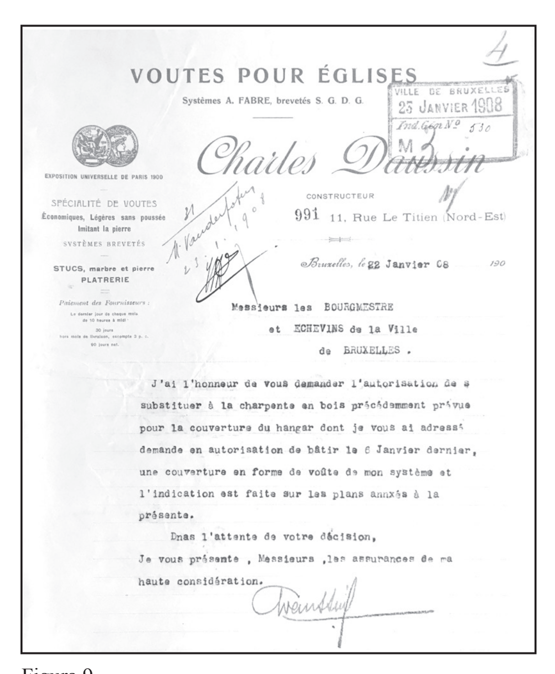


Figura 8
Dibujos explicativos de la patente de Louis Fabre (1936)

En Bélgica, Charles Daussin utiliza la patente de A. Fabre a principios del siglo XX, según su propia publicidad (figura 9). En 1908 patenta en Francia un sistema de construcción de bóvedas con ladrillos huecos delgados, colocados de plano y con una ranura en los bordes, similar al de Fabre, creando una cavidad para el mortero. Este sistema dispone de unos ladrillos especiales para las aristas, a modo de nervios que sólo sobresalen por el trasdós, con una o múltiples ranuras en función del ángulo en que acometa la plementería (figuras 10 y 11). Daussin hace hincapié en la ligereza de las bóvedas construidas con este sistema, que no pesan más de 45-50 kg/m^2. En la parte superior se cubren con una capa de mortero. Para mejorar la adherencia con esta última capa de mortero los ladrillos pueden tener en su cara superior una serie de entrantes y salientes. También se puede mejorar la adherencia mediante una malla metálica (Daussin 1908). En la patente no se menciona que las bóvedas se construyan sin cimbra, y habla de la posibilidad de utilizar mortero de «…yeso, cemento u otra composición» (Daussin 1908, 1). Charles Daussin fue premiado con la medalla de oro de la Exposición Universal de Rouboix en 1911, en la categoría de *génie civil, matériaux, construction, travaux publics,* classe 25, hors concurs, Membres du Jury (Sayet 1911, 2:245).[8]



4

VOUTES POUR ÉGLISES
Systèmes A. FABRE, brevetés S. G. D. G.

VILLE DE BRUXELLES
23 JANVIER 1908
Ind. Gén Nº 530
M 3

EXPOSITION UNIVERSELLE DE PARIS 1900

SPÉCIALITÉ DE VOUTES
Économiques, Légères sans poussée
Imitant la pierre
SYSTÈMES BREVETÉS

STUCS, marbre et pierre
PLATRERIE

Paiement des Fournisseurs :
Le dernier jour de chaque mois de 10 heures à midi
30 jours hors mois de livraison, escompte 3 p. c.
90 jours net.

Charles Daussin
CONSTRUCTEUR
991 11, Rue Le Titien (Nord-Est)

Bruxelles, le 22 Janvier 08

Messieurs les BOURGMESTRE
et ECHEVINS de la Ville
de BRUXELLES .

J'ai l'honneur de vous demander l'autorisation de s substituer à la charpente en bois précédemment prévue pour la couverture du hangar dont je vous ai adressé demande en autorisation de bâtir le 6 Janvier dernier, une couverture en forme de voûte de mon système et l'indication est faite sur les plans annexés à la présente.

Dnas l'attente de votre décision,

Je vous présente , Messieurs ,les assurances de ma haute considération.

Figura 9
Hoja corporativa de la empresa de Charles Daussin (1908), en la que solicita licencia para construir una bóveda en el hangar. Véase la referencia a la patente de Fabre en el encabezado (AVB/TP991)

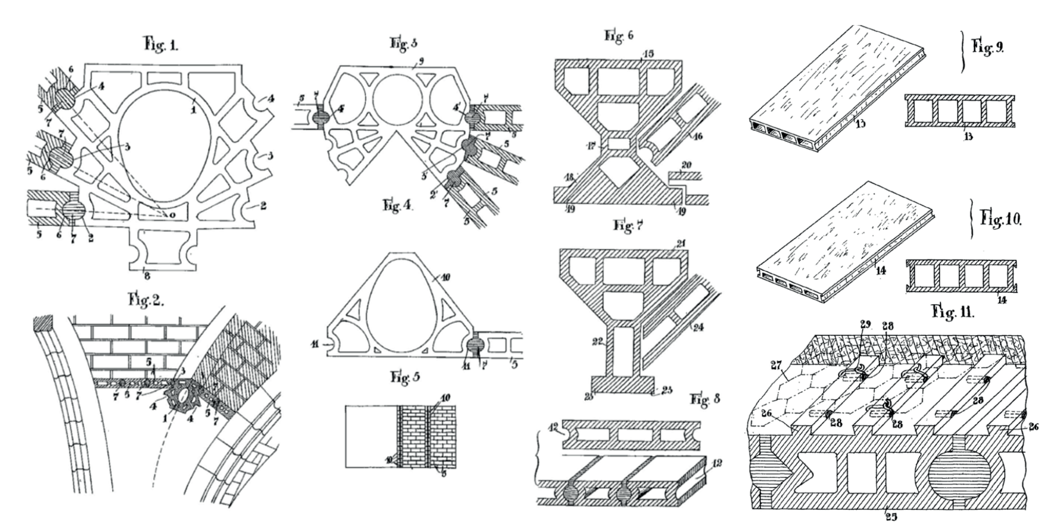


Figura 10
Sistema patentado por Charles Daussin (Daussin 1908)

Paul Combaz (1845-1920), comandante y profesor en la *École Militaire de Bruxelles*, explica este sistema en *La Construction* y lo denomina con los dos nombres, Fabre y Daussin (Combaz 1905). Combaz afirma que las bóvedas de fábrica apenas se utilizan en los edificios modernos, pero sin embargo «se ha de admitir que la bóveda construida con piezas pequeñas bien unidas conserva siempre un aspecto monumental y un sello de grandeza que no le será arrebatado por todos los nuevos métodos de construcción destinados a reemplazarlas» (Combaz 1905: 262).[9] Combaz escribe sobre la importancia del ahorro de cimbras, comenzado en la Edad Media con la invención de la bóveda sobre nervios. En la actualidad, dice Combaz, la búsqueda de la economía en la construcción ha llevado a buscar nuevos métodos de ejecución para prescindir de cimbras costosas, y suprimir el empuje de las bóvedas, reduciendo así también el material de contrarresto. Según Combaz, Fabre y Daussin utilizan unas bóvedas que, además de resistentes, pueden construirse de forma rápida y económica. Hace referencia también al uso de un estuco para imitar las juntas de piedra, así como a ladrillos especiales moldurados. Da algunos datos técnicos como la resistencia, entre 2000 y 3500 kg/m^2 dependiendo del tamaño y la disposición de la bóveda, o el peso, entre 45 y 85 kg/m^2.

Asegura que se han construido bóvedas de este tipo en Bélgica y Alemania, citando entre otros ejemplos el Palais de Laeken, con 6000 m^2 de bóvedas, y

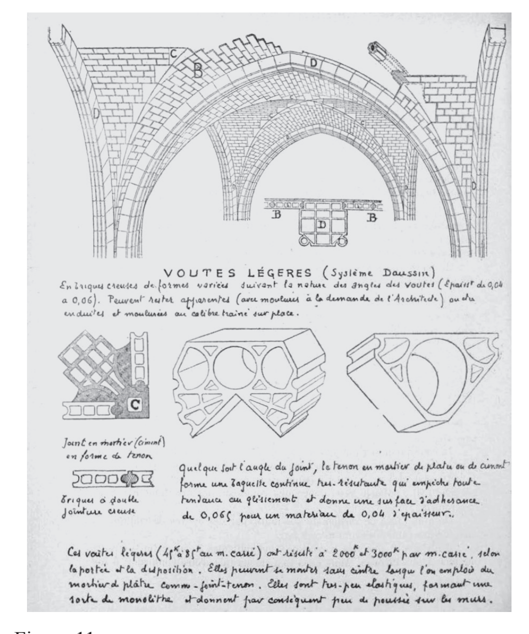
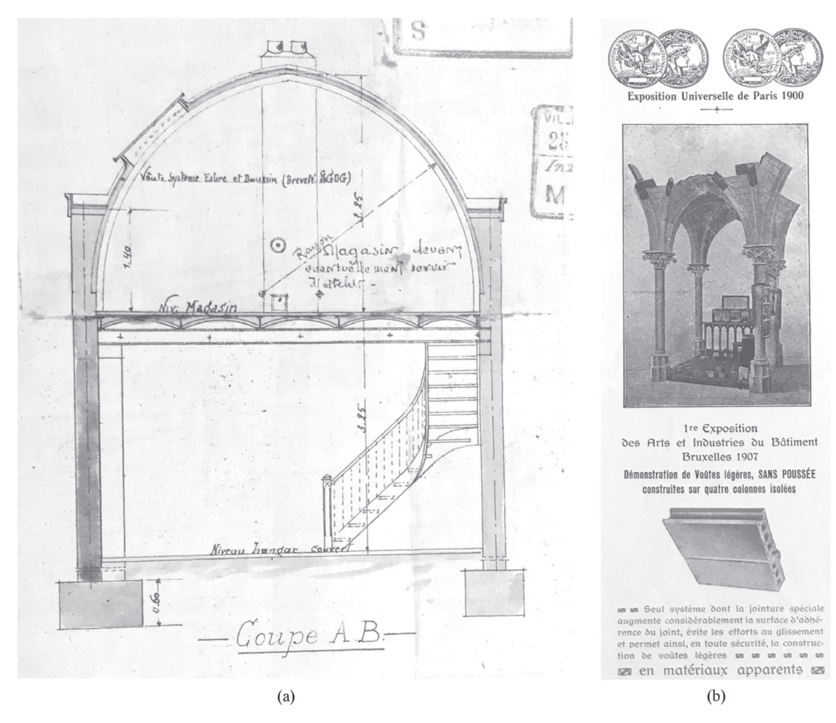


Figura 11
Explicación del sistema Daussin en Arnaud (1925)



(a) (b)

Figura 12
(a) Sección del hangar en Rue de l'Étendard 11, Bruselas; (b) Detalle de una de las hojas corporativas de la empresa de Charles Daussin en 1908. Nótese que se señalaba en mayúsculas *sans possée* (AVB/TP991)

en el que la *salle du manège* con 17 m de luz, está cubierta con una bóveda de cañón de 6 cm de espesor (Combaz 1905: 262-264). El hecho de que Daussin construyera para el rey da idea de la importancia de su constructora.

En 1925, Arnaud vuelve a recoger este sistema en su *Cours d'architecture et de constructions civiles* y habla de su uso únicamente en el caso de bóvedas que sólo soportan su propio peso. Menciona como ejemplo el Petit Palais, pero no a Fabre, denominando el sistema *système Daussin* (como podemos ver los dos nombres se mezclan a menudo). Especifica que pueden construirse sin cimbra cuando se utiliza un mortero de yeso de fraguado rápido.

La compañía de construcción de bóvedas ligeras fundada por Daussin construyó desde finales del siglo XIX numerosas bóvedas. Posiblemente uno de los primeros usos lo hace en su propia oficina, en la Rue de l'Entandard 11 en Bruselas. El edificio lo proyecta el arquitecto Édouard Ramaekers, y en la parte trasera construye un hangar. En un primer proyecto el hangar se iba a cubrir con una estructura de madera, pero el 22 de enero de 1908 pide una autorización para sustituir la armadura de madera prevista por «une courverture en forme de voûte de mon sytème» (figura 9). En los planos conservados se ve la sección del hangar con una bóveda de unos 5 cm de espesor (figura 12a). En el mismo plano se especifica *Voûte Système Fabre et Daussin (Breveté AGDG)*.

La evolución de la empresa se ha podido seguir por la publicidad que aparece en las revistas de la época y las hojas corporativas encontradas en el Archive de la Ville de Bruxelles. La empresa participó en la *1re Exposition des Arts et Industries du Bâtiment Bruxelles* en 1907, donde realizó una demostración con la construcción de una bóveda sobre cuatro columnas. Se pretendía demostrar la ligereza, y de nuevo la «ausencia» de empuje de estas bóvedas (figura 12b).



Figura 13
Anuncio de la empresa J. Tignol & A. Joly en 1934 (Bâtir 1934, nº 14)



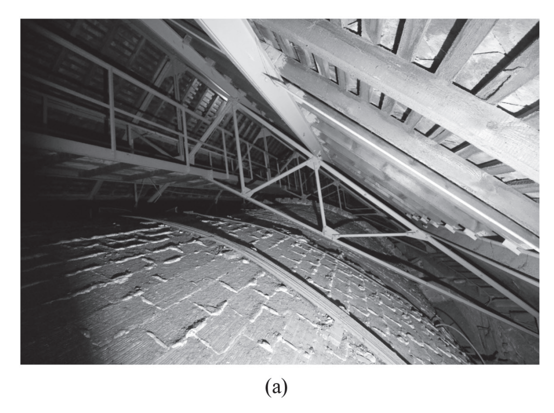
Figura 14
Église de l'Annonciation en Ixelles (Foto: R. Wibaut)

Según la documentación encontrada, en algún momento la empresa de Daussin pasó a ser Daussin y Tignol y más adelante J. Tignol y A. Joly. En los años 30 se anunciaban con una larga lista de iglesias construidas por ellos, tanto en Bélgica, como en Francia (figura 13).

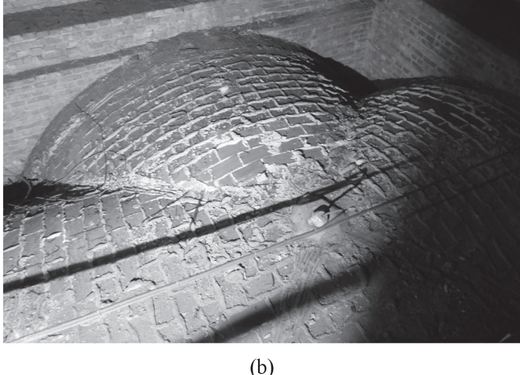
Entre estas numerosas iglesias están las iglesias de l'Annonciation en Ixelles, del arquitecto Camille Damman, construida entre 1932 y 1934, la del Divine Savoir, en Schaerbeek o la de St. Alix en Woluwé-Saint-Pierre, construidas en 1935 por el arquitecto Léonard Homez (Deletang 1939). Estas iglesias merecieron artículos en las revistas de la época, en las que apenas se veían ya bóvedas. En el primer caso se especifica que las bóvedas están construidas con ladrillo hueco, de 4,5 cm de espesor, sin encofrado y tomados con yeso, indispensable para la construcción de bóvedas tabicadas por la rapidez de fraguado (Ossature Metallique 1935; W. P. 1936). La ausencia de la capa final de mortero por el trasdós permite apreciar claramente la disposición de los ladrillos (figura 15).[10]

Desde sus comienzos la empresa también participó en la construcción de edificios civiles de gran importancia, como el Palais de Laeken, mencionado con anterioridad, el palacio y la arquería del Cinquantenaire o el Museo del Congo (actualmente Museo Real de África Central), en Bruselas.

De momento se ha encontrado referencia a una treintena de edificios construidos por esta empresa en Bélgica, y alrededor de 20 en Francia, aunque no todos estos edificios se han podido localizar con exac-



(a)



(b)

Figura 15
Église de l'Annonciation en Ixelles; (a) Trasdós de la bóveda de la nave central; (b) Trasdós de la nave lateral (Fotos: R. Wibaut)

titud. En los textos de la época estas bóvedas se mencionan con diferentes nombres: sistema Fabre, sistema Daussin, sistema Tignol y Joly o sistema Sussenaire,[11] y en todos los casos se habla de ellas como un sistema ampliamente conocido.

Notas

1. La presente comunicación expone los primeros resultados de una investigación en curso, comenzada en la Brandenburg University of Technology, Cottbus-Senftenberg, Graduiertenkolleg 1913, y continuada en la Vrije Universiteit Brussel. Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon 2020 según el programa Marie Skłodowska-Curie (Project ID: 833030).
2. «Bien que l'emploi de cintres soit la règle pour la exécution des voûtes grandes et petites, cette règle supporte pourtant des exceptions. C'est ainsi qu'on a exécuté certaines voûtes même assez importantes sans cintres, en se servant de ciments très-énergiques qui, faisant prise presque instantanément, liaient les matériaux les uns aux autres assez solidement pour qu'on pût construire en porte-à-faux chacune des deux demi-voûtes, en se servant seulement de gabarits en planches pour régler leur face de douelle; mais ce ne sont là que de rares exceptions et en quelque sorte de tours de force».
3. En la primera edición del *Cours de Construction*, Demanet (1847) menciona los tubos huecos, pero no habla explícitamente de bóvedas, sólo de obras ligeras. En la edición de 1861 en cambio, añade que los tubos huecos sirven principalmente para la construcción de forjados y bóvedas ligeras (Demanet 1861, 1: 93).
4. Sobre el comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas, que en realidad sí empujan, aunque menos por ser más ligeras, véase Huerta 2005.
5. «Les nouvelles voûtes que nous allons décrire ont toutes les qualités requises par les nécessités du siècle où nous vivons; elles s'etablissent très rapidement, elles sont économiques et elles ont sûrement assez de solidité pour survivre aux monuments en pierres tendres et peu durables actuellement en usage».
6. «La maison Fabre, sous le nom fallacieux de voûtes sans poussées, a exécuté des milliers de voûtes d'églises en briques de quatre centimètres d'épaisseur seulement».
7. «L'invention concerne les voûtes légères connues depuis de nombreuses années sous le nom de ‹voûtes système Fabre›».
8. Agradecemos la información facilitada por el Servicio de documentación de la *Bureau International des Expositions* que además nos hicieron llegar el informe de la exposición (Sayet 1912).
9. «(...) on doit convenir cependant que la voûte en petits matériaux bien rejointoyée conserve toujours un aspect monumental et un cachet de grandeur que ne lui enléveront pas tous les procédés nouveaux de construction destinés à la remplacer».
10. Romain Wibaut ha compartido generosamente con nosostras la información recopilada sobre estas y otras iglesias en Bélgica dentro del proyecto de investigación «Hidden Innovation. Building church roofs in Belgium (1830s-1930s): construction technologies, architectural-historical contextualization, and present heritage challenges in international perspective» financiado por Fonds Wetenschappellijk Onderzoek Vlaanderen (FWO).
11. La empresa Sussenaire, Courty & Morcel se publicita en las revistas de la época como constructora de bóvedas ligeras de ladrillo hueco, con un sistema que podemos suponer similar al de Fabre y Daussin. En el *Bulletin des Commissions Royales d'Art & Archéologie* (1934) se recoge una noticia sobre un problema surgido durante la construcción de las bóvedas de la iglesia nueva de Bas-Oha. Al parecer las bóvedas estaban previstas según el «sistema de ladrillos huecos Daussin, Sussenaire o similar».

Lista de referencias

Abraham, P. 1941. Les aires planes portantes en maçonnerie. *L'Architecture Française* 2 (13): 37–43.

Abraham, P. 1942. Chantier d'application de la maçonnerie d'Andressy. Internat pour 150 élèves. *L´Architecture Française* 2 (15): 25–34.

Abraham, P. 1945. *L´evolution des procédés traditionnels de construction dans la maçonnerie de bâtiment*. París: Institut technique du bâtiment et des travaux publics.

Almagro, A. 2001. Un aspecto constructivo de las bóvedas en Al-Andalus. *Al-Qantara. Revista de estudios árabes* (CSIC) 22: 147-170.

Algérie Catholique. 1936. *L'Algérie Catholique. Revue mensuelle illustrée*, 7.

Archives de la Ville de Bruxelles, travaux publics (AVB/TP).

Arnaud, E. 1925. *Cours d'architecture et de constructions civiles. Technique du batiment*. Vol. 2. París: Imprimerie des Arts et Manufactures.

Barré, L.A. 1896. *Memento de l'architecte et de l'entrepreneur. Théorie pratique et législation du bâtiment*. París: Imprimerie E. Bernard et Cie.

Besenval, Roland. 1984. *Technologie de la voûte dans l'orient ancien*. París: Editions Recherche sur les Civilisations.

Blondel, J. F. y P. Patte. 1771-77. *Cours d'Architecture*. París: Veuve Desaint.

Bühler, Dirk. 2017. La constructora «Hermanos Rank» y la introducción de las bóvedas tabicadas en Munich a partir de 1947. En *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la construcción,* vol. 1, editado por S. Huerta, P. Fuentes and I. J. Gil Crespo, 215-224. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Bulletin des Commissions Royales d'Art & d'Archéologie. 1934. Église nouvelle à Bas-Oha. *Bulletin des Commissions Royales d'Art & d'Archéologie*, 354-355.

Choisy, Auguste. [1883] 1997. *El arte de construir en Bizancio*. Madrid: Instituto Juan de Herrera/CEHOPU.

Claudel, L. y J. Laroque. 1859. *Pratique de l'art de construire. Maçonnerie. Terrasse et plâtrerie*. 2ª ed. París: Dalmont et Dunod.

Combaz, Paul. 1905. *La construction. Principes et applications*. Vol. 3. Bruselas: J. G. Pieper; Lieja: Charles Desoer; París: H. Dunod & E. Pinat.

Cunha, A. 1900. Les voûtes sans cintres. En *Les travaux de l'exposition de 1900*, 70-74. París: Masson.

Daussin, C. 1908. Briques spéciales pour la construction de voûtes légères et système de voûtes. Patente nº 395858, Francia. Solicitada 31 octubre 1908, expedida 8 enero 1909, publicada 20 marzo 1909, https://worldwide.espacenet.com/ (acceso 1 marzo 2019).

Deletang, Maurice. 1939. Églises nouvelles Sainte-Théresè de l'enfant Jésus, à Dilbeek. Sainte Alix, à Jolibois (Woluwé Saint-Pierre). Architect: Léonard Homez. *Bâtir*, 84: 469-471.

Demanet, A. 1847. *Cours de Construction Professé a l'École Militaire de Bruxelles (1843-1847)*. Bruselas: Société Typographique Belge.

Demanet, A. 1861. *Cours de Construction Professé a l'École Militaire de Bruxelles (1843-1847)*. Vol. 1. 2ª ed. París: Libraire Scientifique, Industrielle et Agricole.

Demanet, A. 1864. *Guide pratique du constructeur. Maçonnerie*. París: Libraire Scientifique, industrielle et agricole.

Enthoven, R. E. 1946. Building Vaults without Centering. *The Architect's Journal*, 103: 284.

Fabre, Louis. 1936. Système de voûtes porteuses de toitures. Patente nº 796253, Francia. Solicitada 12 octubre 1935, expedida 17 enero 1936, publicada 3 abril 1936. Online: https://worldwide.espacenet.com/ (acceso 1 marzo 2019).

Frattaruolo, M. R. 2000. Las bóvedas *in folio*: tradición y continuidad. En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editato por A. Graciani et al., 327-334. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Huerta, Santiago. 2005. Mecánica de las bóvedas tabicadas, *Arquitectura COAM*, 339: 102-111.

Huerta, Santiago. 2017. Las bóvedas tabicadas en Alemania: la larga migración de una técnica constructiva. En *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la construcción, vol. 2*, editado por S. Huerta, P. Fuentes and I. J. Gil Crespo, 759-772. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Lancaster, L. 2015. *Innovative vaulting in the architecture of the Roman Empire, 1st to 4th Centuries*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lassaulx, J. C. 1829. Beschreibung des Verfahrens bei anfertigung leichter Gewölbe über Kirchem und ähnlichen Räumen. *Journal für die Baukunst* 1:71-83.

Ministère de l'Industrie et du Travail. 1905. *Recueil des brevets d'invention*. Bruselas: Imprimerie A. Lesigne.

Ossature Metallique 1935. *L'Ossature metallique. Revue mensuelle des applications de l'acier*, 5º año, nº 1.

Redondo Martínez, Esther. 2013. *La bóveda tabicada en España en el siglo XIX: la transformación de un sistema constructivo*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Rondelet, J. 1802-10. *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. París: Chez l'auteur.

Sayet, Gilbert. 1912. *Expostion international du nord de la France, Roubaix 1911. Rapport Général.* Vol. 2. Roubaix: Imprimerie du Journal de Roubaix.

Storz, S. 1994. *Tonhöhren im antiken Gewölbebau*. Mainz: Verlag Philipp von Zabern.

Vos, N. de. 1879. *Cours de construction donné de 1864 à 1874*. Bruselas: Libraire Polytechnique de Decq. & Duhent.

Wendland, David. 2003. A case of Recovery of a Medieval Vaulting Technique in the 19th Century: Lassaulx's Vaults in the Church of Treis. En *Traditional and Innovative Structures in Architecture*, editado por W. Jäger, A. Lippert, L. Rietzschel y D. Wendland. Dresde: TU Dresden, Lehrstuhl Tragwerksplanung.

Wendland, David. 2007. Traditional Vault Construction Without Formwork: Masonry Pattern and Vault Shape in the Historical Technical Literature and in Experimental Studies. *International Journal of Architectural Heritage* 1 (4):311-365.

W.P. 1936. L'église Notre-Dame de l'Annonciation à Ixelles. *Bâtir. Revue mensuelle illustrée d'architecture, d'art et de décoration*, 40:594-595.

Algunas tecnicas y sistemas constructivos con denominación de origen documentado

Manuel Galarza Tortajada

El objeto de esta comunicación es dar a conocer algunas técnicas y elementos constructivos históricos perfectamente definidos y reconocidos, con sus identificaciones específicas documentadas, con el fin de recuperar su denominación original, como ya en su día se hizo con la tapia valenciana, hoy universalmente reconocida.

Se podría así unificar criterios de forma efectiva respecto a las denominaciones de aquellos métodos, procedimientos y realidades constructivas todavía vigentes, al menos a nivel de los estudios pertinentes, pero también recuperando de forma normalizada dichas identificaciones propias y específicas.

Escalera castellana

Entendemos como escalera *castellana* o *a la castellana*, aquella construida en un recinto regular cerrado por cuatro paredes y compuesta por cuatro tramos sucesivos, pegados a las citadas paredes perimetrales, con cuatro rellanos en los rincones, dejando un hueco u ojo enmedio, y desarrollada generalmente siguiendo, en general, el sentido contrario al de las agujas del reloj.

En algunos lugares, a este tipo de escalera se las denomina *de ojo abierto*:

> ...la escalera se haya de hazer de seys palmos de ancho desde el patin asta entrar en el mirador...con su ojo en medio, con su barotes y antipechos y haya de ser la dicha escalera de algez y ladrillo...[1]

> ...a el peso del cabezero en la pared vieja se abrira un hueco de puerta que de uso a dicha torre, en la qual se formará su escalera de idas de ojo abierto para que por él bajen las cuerdas...[2]

Por desconocimiento de esta concreta denominación histórica que aquí se reivindica, en recientes estudios, detectada su existencia y singularidad, se ha tenido la necesidad de crear una nueva, asignándoles el de *escaleras claustrales de cuatro tramos*. Aquí se demuestra que su denominación histórica está ampliamente documentada.

Este diseño de escalera permite adecuar los accesos a diferentes niveles aleatorios con el mismo recorrido en todas las tramadas, en cuyo caso se solía resolver su iluminación mediante aspilleras alineadas verticalmente en el paramento más adecuado: «...hazer una escalera de quatro palmos poco mas o menos para puyar a las dichas campanas desta manera que puye quadrada alderredor de la torre... que aproveche para puyar al coro y al campanar que para todo puede provechar y sera mas provecho».[3]

Los primeros datos documentales sobre la denominación indicada de momento los encontramos, como no podría ser de otra forma, principalmente en contratos de obras realizadas en la zona de Valencia, lo que demuestra que se trata de una solución *importada*, en sustitución de las anteriores *escaleras de caracol*: «...fer dins de dit campanar, sobre el cap de altar de la ca[pella] de San Elias una escala castellana de

quatre pams y mig de ample que puje fins al sol de la cuberta de les campanes...».[4]

Pavimento a la valenciana

En el pavimento a la valenciana las piezas son cuadradas o rectangulares [baldosas o ladrillos], de dimensión uniforme y se colocan a rompe junta en disposición ortogonal pero sin cortapisa que regularice su perímetro: «...aya de hazer la cubierta a la testa de la cozina...dicha cubierta sea de cabiron y ladrillo paymentada y enterrada [sobre mortero de tierra] conforme se paymentan los terrados en Valencia...».5

Pavimento o alicatado a punta de Hungría o cartabón

La colocación de un pavimento *a cartabón*, también denominado *a punta de Hungría*, se realiza colocando las baldosas a 45º respecto al eje dominante del habitáculo que se va a pavimentar, con el fin de que la geometría de las piezas del pavimento siempre responda a cuadrados [*baldosa entera*], triángulos [*media baldosa*] o triángulos de un cuarto de baldosa, y nunca aparezcan piezas irregulares o muy pequeñas. Las piezas triangulares reciben el nombre de chuletas (Rebolledo 1893, 358) o piezas de remate.

El pavimento colocado *a cartabón* también recibe el nombre de *alfombra*, porque, al estar enmarcado por la correspondiente *cortapisa*, siempre se resuelve mediante figuras perfectamente escuadradas: «...paymentar los suelos de tableros grandes en cortapisas y a cartabón y fajas cortadas...paymentar el suelo de tableros grandes que esté a nivel en cortapisa y cartabón...».[6]

Parece ser que a esta forma de colocar el pavimento también se le denominaba como *de ladrillo cortado*, por la disposición de los ladrillos perimetrales: «...a de hazer el paymento como mejor le paresciere al dicho Padre Prior y Convento, con la condicion que la rajola ha de yr cortada».[7]

Terrado valenciano

El sistema de construir las terrazas planas, generalmente sobre entramado de madera, parece ser que estaba desde antiguo muy generalizado en Valencia, y llamaba la atención de los visitantes.[8] Así al menos nos lo confirman los documentos y así se les reconocía en otros reinos -en contraposición a los tejados- donde se tomaba como modelo de referencia con la citada denominación: «...haia a fer un tros de terrat de amplaria de vint e dos palms a tots aires...e que faça lo payment del dit terrat de huna vella...».[9]

En algún contrato podemos encontrar una descripción completa sobre la forma de construir tanto la estructura como los acabados de un *terrado*:

> ...que'l dicho terrado tiene de ser desta manera, es a saber, que despues de puestas las vigas, tiene de poner los cabirones y enclavarlos con clavos...cubrir con ladrillo comun...sobre este ladrillo, una capa puesta de hyesso; y despues...otra de mortero...y dejarla asi hasta que a su tiempo se haya de molar o paymentar...y acabado el terrado, que de juntura a juntura, las tiene de perfilar y bruñir de tal manera que queden todas las junturas como de piedra picada, para que este mejor y que el agua no se las pueda pasar...10

La efectividad de estos *terrados* era tal, que incluso se proponían para climas mucho más crudos que el mediterráneo: «...que si las torres han de quedar cubiertas con texado [de teja] o a la valenciana, con sus torreones ochabados y con sus piramides como esta en la traza y [o] enladrillado sobre texado, sera a voluntad de los señores officiales».[11]

Terrados o forjados sobre tabiques conejeros o palomeros

La forma tradicional de conseguir una superficie más o menos plana sobre una base abovedada, bien con fines edilicios o, más frecuentemente, como apoyo de una cubierta, se conseguía en general mediante el relleno de los senos con materiales ligeros o con elementos esféricos de cerámica. Pero otras veces dicho relleno se realizaba con el material de deshecho procedente de la propia obra o de su entorno. Era lo que Alberti denominaba *la postrera* ***costra del techo*** (Alberti 1582, Libro 3º, Cap. XV): «...ha de hinchir de tierra o otra cosa por arriva toda la dicha bóveda hasta dexarla tan llana que se pueda enladrillar...».[12]

Al hablar sobre lo que hoy entendemos genéricamente como cubierta, Bails distingue entre la armadura y la propia cubierta (Bails, [1796] 1983, 347).

La armadura es el elemento estructural cuya principal función es la de soportar las cargas que sobre ella gravitan procedentes del tejado o cubierta y transmitirlas a los apoyos.

El relleno en forma de costra, aunque se minimizase con elementos cerámicos huecos, aportaba grandes sobrecargas al conjunto. Se optó, en un primer intento, en independizar dicha armadura del propio elemento estructural mediante la utilización de elementos lígneos, pero su mantenimiento exigía grandes cuidados y más cuando los sistemas de iluminación se resolvían mediante lámparas de aceite, provocando frecuentes incendios.

A principios del siglo XVI, dados los nefastos resultados obtenidos con las cubiertas de madera, principalmente en las iglesias, se produce una corriente de opinión en contra de dicha solución y se generaliza, sobre todo en la zona de Valencia, la construcción de cubiertas y suelos apoyados sobre tabiquillos conejeros o palomeros:[13] «...tiene de ygualar el suelo mas alto, que a de servir por celdas y hazerlo [l]lano, con sus calejoncicos de ladrillo y hyeso; y despues lo tiene de paymentar de ladrillo comun...».[14]

Esta solución, además de anular totalmente el riesgo de incendios, aportaba al conjunto menos carga muerta que las anteriores soluciones. Pero además, si se complementaba con la adecuada ventilación, minimizaba los efectos, no sólo del propio calor sobre la superficie expuesta [fisuras de dilatación del material y ataque de xilófagos], sino incluso su transmisión a las dependencias situadas bajo cubierta [aislamiento térmico]: «...ensima de la buelta del coro de dicha yglesia se han de hazer carrerones, arraçar e ygualar y ensima de dicho arrasamiento se ha de hazer hun paymento de tableros pequeños y mortero...».[15]

Ventana valenciana

No se dispone de la documentación suficiente para identificar la denominada *ventana valenciana*. Intuyo que su denominación, más que por afectar a la forma estructural de sus elementos murarios, hacía referencia a la organización de la *carpintería de cierre*, con las distintas prestaciones que se les podía demandar.

Por el conocimiento que tengo de la carpintería valenciana (figura 1), por la cantidad de herrajes que intervienen en su confección y por los acabados de sus elementos, estimo que debe tratarse de una ventana o puerta balconera, dotada de distintos compartimentos practicables de forma independiente, y complementada con unos batientes ciegos [contraventanas] que permiten ventilar u oscurecer a voluntad de forma parcial y gradual el recinto correspondiente.



Figura 1
Vista interior de una puerta/ventana balconera. Colegio del Arte Mayor de la Seda. Siglo XVI. Valencia (Imagen del autor)

Independientemente de las prestaciones que se le demanda a la ventana en cuanto a medio para iluminar una estancia, también, según la ubicación en el habitáculo, precisaba de unas medidas de seguridad. La solución más elemental para impedir que la ventana se aproveche como falsa entrada sería condenarla, es decir, cerrarla, bien mediante elementos fijos como piedras traslúcidas, o con elementos practicables, como batientes de madera maciza; en este caso pugnaban entre sí los conceptos de iluminación, seguridad y confort: «...abriendo una bentana luego en el primer rellano anzia la calle y en el patio azer lugar y acomodar con telar de texer de bentana les dan su luz que hubiere menester».[16]

Con la ventana valenciana se cumplen todas las prestaciones requeridas mediante la colocación de los dobles postigos con los correspondientes herrajes.

En cuanto a los herrajes (figura 2), se singulariza cada uno de los elementos intervinientes en su confección: alguazas, aldabas, cencerretos, aldavillas, fallebas, tirantes, bisagras, pernios, pestillos, etc.



Figura 2
Vista interior de una ventana valenciana con sus herrajes (Imagen del autor)



Figura 3
Vista exterior de una ventana valenciana con su compartimentación, elementos de cierre y posición del guarda persianas. Calle Poeta Al-Russafí. Ruzafa, Valencia (Imagen del autor).

Pero también en los contratos vemos que se hace hincapié, cuando se refieren a elementos de carpintería a la valenciana, en la forma de tratar sus acabados; y así se dice labradas a una o dos caras, escafadas, enpanelado a la valenciana, etc.; sin descuidar la colocación de varetas para colocar y poder sustituir en su caso los encerados [los cristales]. Y un elemento que podríamos calificar de singular, cual es la de partir en altura la ventana en dos, colocando ventanillas arriba, con lo que se preservaba la privacidad sin afectar a la iluminación y ventilación.

> ...[Hacer] un estudio encima la escalera acabado con sus bueltas y lavado de cedaço y sus dos ventanas valencianas labradas a dos caras con todo su aparejo de alguaglas [sic] y aldabas y cencerretos y sus vanquicos guarnecidos con sus varetas y encerados de cera...encima del dicho solanar ha de fazer huna cozina...con sus dos ventanas valencianas a la parte del guerto...al replano de la escalera ha de fazer huna ventana valenciana de dos caras y alguaglas y todas sus aldabas y cençerretas...”.[17]

A partir del siglo XIX estas ventanas se complementan con la colocación de persianas de lamas graduables y replegables, para lo cual se dota al hueco contenedor de dicha carpintería de un recinto, convenientemente disimulado y ornamentado, donde poder esconder dicha persiana cuando esté recogida (figura 3) . Ya a principios del siglo XX se adopta su protección exterior mediante persianas mallorquinas practicables, bien de madera o metálicas, hasta derivar en la persiana enrollable.

Puerta a la valenciana

Tampoco se tiene una idea exacta de las características singulares por las cuales en los contratos se clasificaba un cierto tipo de puertas *a la valenciana* (figura 4); denominación que toma cuerpo a partir de un cierto momento, supongo que desde que se singulariza y destaca su calidad respecto a las normales del entorno. Lo que sí es cierto que dicha denominación no responde a la forma de trabajar y organizar la trabazón de los tableros, solución harto conocida y dominada por los carpinteros locales, precisamente por el dominio que tienen sobre el trabajo de la madera, sino por el diseño y prestaciones de la misma puerta, según antes se ha dicho de las ventanas.

Bien es verdad que en todos los casos en los cuales se añade este calificativo denotan una cierta calidad fuera de lo corrientemente utilizado en ese momento en la zona. Por ello, según se puede apreciar en las distintas citas, en cada caso se incide sobre cada una de sus características, seguramente la más destacable para el correspondiente mandante: “labradas las dos caras”, “empanelado escafado”, etc.



Figura 4
Puerta valenciana, siglo XIX. Gran Vía Marqués del Turia, Valencia. (Imagen del autor)

Pero el modelo general era siempre el mismo o similar.

> ...y las puertas de la sala de cinco palmos de ancho y diez palmos de largo poco mas o menos a la valençiana labradas las dos caras...[18]
> ...para el primer suelo una puerta de una bara de ancha y nuebe palmos de alta de guayron de enpanelado a la valenciana escafada.[19]

Tal vez nos pueda dar una idea de estas singularidades, tan valoradas en otras regiones, la descripción que en la misma época se hace sobre la construcción de una puerta, ya fuera de acceso a una iglesia, como a las viviendas unifamiliares: molduradas por dentro y por fuera, paneles de nogal, con postigos en las de calle, las de iglesias enlatadas por fuera y en las particulares el enlatado sólo afectaba al teórico zócalo y en todos los casos un gran despliegue de elementos de cerrajería, demandado por las múltiples prestaciones que se le exigían.

En general, esta denominación se aplicaba a puertas cancela o de portal, aunque también se podían referir a puertas interiores de vivienda cuajadas de ornamentos, con las lógicas diferencias:

> ...executar y fabricar las sobre dichas puertas nuevas ajustadas á dicho alquitrave...las puertas han de tener dos postigos á su proporción...las molduras y barramentos de dichas puertas y postigos por la parte interior han de executarse con las mismas molduras, y perfeccion, y paneles de nogal...por la cara y parte de afuera se han de enlandar de oja de lata con sus muestras picadas...todo el errage necesario para dichas puertas y postigos, esto es seys golfos, tres para cada puerta, ocho visagras para los dos postigos, dos bernalts, uno para cada puerta, crucera con sus cerrajas, y llave, y una cerraja en cada postigo con sus llaves, y un pomo de yerro en cada postigo...[20]

En contraposición a las denominadas puertas valencianas, encontramos otras más sencillas, a las cuales se les denominaba puertas llanas: «...aya de hazer una puerta principal de casa llana...y que la puerta principal aya de meter sus clavos de volla redonda de los que se usan agora y que las puertas y ventanas que ayan de ser todas llanas».[21]

Tampoco habría que confundir necesariamente las puertas denominadas como valencianas con otras cuya singularidad estribaba en los adornos, generalmente de hierro, que las enriquecían, mostrando así el prestigio del propietario/usuario: «...que las puertas que se ubieren de hazer en las salas y camaras prinçipales sean guarneçidas de una cara y la puerta de la sala baxa guarneçida en bastimento de dos caras; las puertas de la calle con su clabaçon de media naranja y los aros boçellados».[22]

Por similitud con las prestaciones descritas para las ventanas valencianas, me atrevería a proponer, como modelo de puertas a la valenciana, algunos conservados en la zona de Valencia, que cumplen con los estándares, ya enunciados para las ventanas, de mantenimiento del material, seguridad en su función y confort edilicio para el usuario/propietario. Son puertas cancela o de entrada al edificio.

Las características generales, fruto de una paulatina evolución en las exigencias de sus prestaciones, de la puerta valenciana es que siempre son de doble



Figura 5
Exterior de *puerta valenciana* con sus elementos practicables. Valencia (Imagen del autor)

hoja: dos hojas simétricas en su ornamentación; cada hoja, en vertical, se continúa con otra similar de articulación independiente. Las hojas inferiores se despiezan a su vez simulando unos portones; el portón de la hoja izquiera es simulado, el de la derecha, practicable; este portón es el de acceso peatonal. Las hojas superiores son ambas practicables; suelen estar formadas cada una por dos o tres bastidores: reja de cerrajería fija al exterior, cristalera intermedia y hoja ciega al interior, ambas practicables (figura 5).

Estas puertas, en ocasiones, pero sobre todo cuando se trata de viviendas rurales, suelen eliminar las dos hojas superiores sustituyéndolas por una claraboya corrida o por paneles fijos. Sin embargo, en los



Figura 6
Puerta y ventanas, siglo XIX. Arquitectura rural. (Imagen del autor)

portones inferiores aparecen dos aberturas simétricas dotadas con los elementos descritos para poder iluminar el zaguan de la casa, crear la correspondiente ventilación pero además permitir la visión de la calle desde el interior de la vivienda sin tener que abrir la puerta (figura 6).

Una función accesoria pero efectiva según los casos era que, al abrir las dos hojas principales se permitía el acceso de vehículos hasta el fondo del solar, o al establo en las viviendas rurales, por eso se las solía dotar del correspondiente **guardaejes.**

Capialzados

En general, entendemos por *arco capialzado* aquel que tiene sus arranques al mismo nivel pero uno de sus planos frontales, el interior o el exterior, según se mire, es más alto que el otro. Es una especie de arco abocinado. Por ese motivo, algunos autores más que *arcos* los denominan *bóvedas*, porque suelen utilizarse en muros de gran espesor, aunque este *gran espesor* sea sólo relativo. Pequeñas ventanas de monasterios los solían utilizar con el fin de aumentar, abocinando, la entrada de luz a las correspondientes celdas con una reducida superficie de carpintería.

En algunos casos, estos abocinados/capialzados suelen ser dobles, es decir, por ambas partes de las superficies del muro, quedando en el eje del mismo

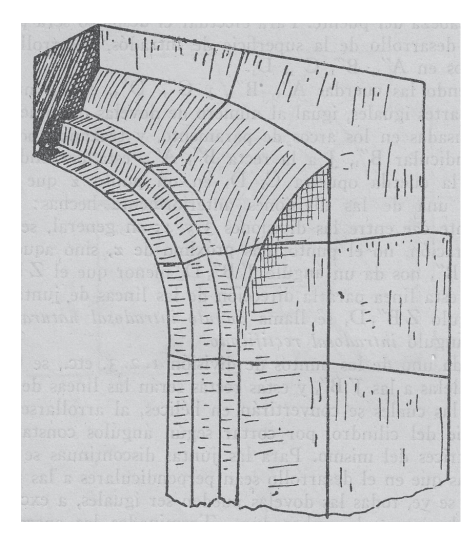


Figura 7
Capialzado de Marsella (Sugrañes s.f., 202)

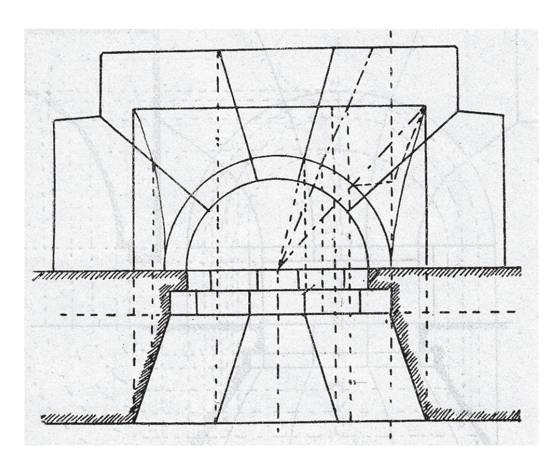


Figura 8
Capialzado de Montpeller (Sugrañes s.f., 203)

muro el hueco rectangular correspondiente a la puerta o ventana.

Tres son los principales casos que se pueden presentar y que se documentan de forma general. Se trata de los denominados capialzados de Marsella, de Montpeller y el de San Antonio, denominaciones que, como tales, no suelen figurar en los contratos, asignadas, por las singulares características particulares, en los manuales del siglo XIX procedentes de Francia, pero cuya clasificación y sus combinaciones abarca todo el abanico posible de cuantos nos podamos encontrar.

Capialzado de Marsella

Este tipo de arco capialzado salva un hueco de un muro enlazando un arco de medio punto (exterior) y otro escarzano (interior, y algo más alto que el primero en su clave), y lo hace utilizando una superficie reglada que se apoya en ambos (Rabasa 2000, 278).

Capialzado de Montpeller

Consiste en que en el paramento interior del muro no aparece un arco escarzano sino un arco recto, pero de mayor luz que el exterior (Sugrañes s.f., 204).

Capialzado de San Antonio

No responde a una necesidad, como sucede con los anteriores, que son necesarios para el libre movimiento de las hojas de cierre de las aberturas, sino que obedece al deseo de dar mayor grandiosidad a una abertura (Sugrañes s.f., 206).

También lo podemos encontrar enlazando un arco recto -un dintel exterior- con otro escarzano interior, estando formado por una superficie llamada a vela o



Figura 9
Capialzado de San Antonio. Monasterio de Jesús del Monte. Loranca de Tajuña. Guadalajara.

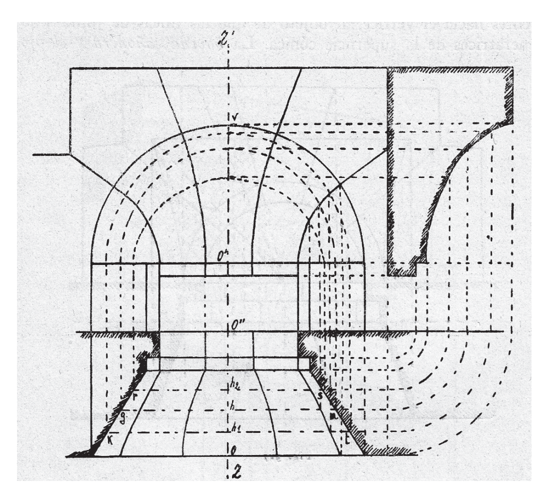


Figura 10
Capialzado a vela o veloídico (Sugrañes s.f., 204).

veloídica (figura 10) de forma capialzada, siendo el dintel de la correspondiente puerta recto (Sugrañes s.f., 204).

> En el archivo se ha de abrir una ventana, que caiga al mercado...por la parte de afuera a nivel, y por dentro capialsado...[23]
> ...los pies derechos de puertas y ventanas...se cerrarán sus arcos a regla por la parte exterior y por la interior escarzanos, para la servidumbre y luces de las piezas demostradas..[24]

Trabazón a la valenciana

Bien es verdad que, desde la óptica de la distancia, la técnica muraria denominada *emplecton* crea un muro de tres hojas, teóricamente independientes entre sí, en el cual nos resulta difícil asignar qué resistencia soporta en el conjunto cada una de ellas si no están perfectamente cohesionadas: el efecto inmediato, al entrar el muro en carga, sería la separación de las hojas por aplastamiento y, por tanto, la reducción de la sección resistente. De ahí que una de las preocupaciones que constantemente se refleja en los Tratados sea garantizar la unión entre ambas hojas, lo cual se consigue mediante la inclusión de *tizones* o elementos y materiales accesorios: «Los que quieran evitar estos inconvenientes podrán dexar vacío el espacio del medio en la pared... atando las dos frentes con grapas de hierro emplomadas...pues estando por sus lechos y juntas alternativamente travadas y aseguradas, no causarán impulso, ni dexarán caer las piedras de las caras, por sus mutuos ligamentos» (Vitruvio 1787, Libro II, Cap. VIII).

Según los materiales que intervienen en su construcción y según el aspecto que ofrecen, suelen clasificarse de distintas formas, pero su sistema constructivo siempre será el mismo. El propio Alberti nos dirá: «Toda la razón del edificar está y se fenece en esta cosa sola, que juntas en orden muchas cosas, y compuestas con arte...la composición de ellas se lleve al cabo maciza, y, quanto se pudiere, entera y unida» (Alberti 1582, Libro 3º, Capítulo I).

De donde podemos inferir que la condición básica para la calidad de una construcción estriba en que «Entre todas las partes de una pared haya unión y trabazón perfectas» (Alberti 1582, Libro 3º, Capítulo I).

Pero Alberti todavía puntualiza más y da la razón económica que condiciona esta forma de construir: «Hay dos tipos de relleno: el uno consiste en llenar aquel espacio vacío que queda entre las envolturas de hormigón; el otro consiste en construir más que en llenar el espacio interior con piedra ordinaria, pero basta. Es evidente que uno y otro aparejo fueron ideados para economizar...» (Alberti 1582, Libro 3º, Cap. VIII).

Y recomienda: «Será bueno traspasar desde la corteza de fuera hasta la de dentro no muy raras algunas piedras ordinarias por medio del grueso de la pared que se enlacen entre si hasta las mismas cortezas, y para que los replenos echados dentro no empujen las camas de las costras» (Alberti 1582, Libro 3º, Cap. VIII).

Este es el principio que prevalecerá en el criterio de los sucesivos maestros. En los contratos de obra podemos comprobar como estos principios generales se concretizan y estandarizan, con el fin de facilitar su cumplimiento e incluso la comprobación de su ejecución, mediante la inclusión de llaves y tizones o ligadores: «...poniendo empero de ocho a ocho palmos su piedra travesera en cada filada asta subir toda la piedra» (Alberti. 1582. Libro 3º. Cap. VIII).

Estos teóricos razonamientos y exigencias de tipo técnico suponían graves quebrantos en la organización y control de la fabricación y suministro de

los sillares, lo cual venía en detrimento de los rendimientos en las obras, derivando en el incumplimiento de los mismos. Se razonó la forma de obviar estas condiciones sin afectar a la función que con ellas se pretendía y se decidió que resultaría más efectivo y aumentaría la trabazón si la superficie del trasdós de los elementos de la piel adoptasen una superficie irregular. Con ello se eliminó la colocación de llaves, tizones o ligadores. Esta forma de colocación aportaba al conjunto del trabajo varias ventajas: por una parte, en cantera sólo se trabajaban cinco caras de cada sillar, con lo cual se indicaba su posición en la obra; por otra, se conseguía una reducción en los costos de adquisición del material, y subsidiariamente de su colocación en obra. Se conoció en el ambiente constructivo como trabazón a la valenciana o a soga y hastil (Matallana 1848).

Notas

Abreviaturas

A.C.Ch.V. Archivo [Privado del Colegio] Corpus Christi de Valencia.
A.D.H. Archivo Diocesano de Huelva.
A.H.P.U.V. Archivo Histórico Provincial y Universitario de Valladolid.
A.H.P.Z. Archivo Histórico Provincial de Zaragoza.
A.P.D. Archivo Parroquial de Daroca. (Zaragoza).
A.P.P.V. Archivo de Protocolos del Patriarca de Valencia.
A.R.V. Archivo del Reino de Valencia.

1. 29/III/1615. A.H.P.Z. Not. Pedro Sánchez del Castellar. Obras en unas casas sitas en la calle Pabostre de Zaragoza.
   1757. A.D.H. Legajo nº 217. Fol, 20 rº. Iglesia de San Andrés de Enciansola (Huelva). Citado por Sánchez Pérez, C. 2001. Pág. 111.
2 25/IV/1514. A.H.P.Z. Not. Pedro Garín. Construcción de la torre del lugar de Pastriz (Zaragoza) con el Maestro Juan de Sariñena.
3. 8/IV/1647. A.R.V., Clero, leg. 27. Continuación de la obra del campanario del convento del Carmen de Valencia.
4. 30/I/1613. A.P.P.V. Not. Jaime Cristóbal Ferrer. Obras en el dormitorio doble de la Casa Profesa de Valencia.
5. 30/VI/1741. A.P.P.V. Not. Josep Alfonso. Construcción del Campanario de la Parroquial de Campanar (Valencia).
6. Circa 1580. Destajo de la celda prioral del Monasterio de San Miguel de los Reyes, de Valencia. En Roca Traver, Francisco A. 2000.
7. Esta forma de construir terrazas ya llamó la atención a Wingaerde y así lo reflejó en su plano de Valencia en 1563.
8. 3/XII/1486. A.P.P.V. Sig. 1.250. Notario García Ugart. Restauración de la vivienda de Mossen Spital, en Valencia.
9. La expresión de huna [rajola] vella se refiere a que dicho pavimento se solía realizar con ladrillos recuperados de derribos, por tanto, viejos.
10. 10/VII/1581. Capitulaciones sobre el terrado del Claustro del Convento de San Miguel de los Reyes de Valencia. En Roca Traver, Francisco A. , 2000.
11. 26/IV/1610. Construcción de la fachada de la Casa de la Ciudad del Concejo de Huesca.
12. 1614. A.P.D. Capitulación suelta, de 2 folios, carpeta D-1. Colocación del tejado de la portada del Perdón de la Colegial de Daroca.
13. A su generalización en el ámbito valenciano contribuyó de forma decisiva las Ordenanzas, consecuencia de un Sínodo convocado por el Arzobispo Isidoro Aliaga, publicadas en 1631.
14. 1580. Obra que se ha de hazer en las dos celdas que estan encima de la libreria de San Miguel de los Reyes de Valencia. En Roca Traver, Francisco A. 2000.
15. 3/III/1597. A.P.P.V. Sig. 10.111. Not. Jaime Cristóbal Ferrer. Construcción del Convento de Capuchinos de Valencia.
16. 3/I/1616. A.H.P.Z. Not. Francisco de Bierge. Obras en las casas de Diego Sanz de Villanueva, vecino de Zaragoza.
17. 16/XI/1523. A.H.P.Z. Not. Pedro Bermuz. Obra en las casas de Francisco de Medina, mercader, de Zaragoza.
18. 7/IX/1567. A.H.P.Z. Not. Jaime Secanilla. Construcción de dos casas junto al Forno de la Yedra en Zaragoza.
19. 8/II/1634. A.H.P.Z. Not. Pedro J. Martínez de Aztarbe. Construcción de una casa propiedad de la Iglesia de San Juan el Viejo de Zaragoza.
20. 10/III/1682. A.R.V, Clero, Legajo 96, Caja 215. Portada principal de la iglesia de la Casa Profesa de Valencia.
21. 21/VII/1567. A.H.P.Z. Not. Martín Español. Casa para el azutero del término de Urdán (Zaragoza).
22. 12/I/1570. A.H.P.Z. Not. Juan Díaz de Altarriba. Cofradía de dicha Iglesia de San Lorenzo de Zaragoza.
23. Circa 1700. A.C.Ch.V. Apuntamientos del Dr. Coratja. Capítulos de las covachuelas de la iglesia de San Juan del Mercado de Valencia.
24. 1/V/1730. A.H.P.U.V. Leg. 12.247. Obra del Ayuntamiento de Villalón (Valladolid).

Lista de referencias

Alberti. Leon Baptista. Los diez libros de Arquitectura. Traducidos del latin en Romance. En casa de Alonso Gomez, Impresor de Su Magestad: Año de 1582.

Bails, Benito. Elementos de Matemáticas. Tomo I, Parte I que trata De la Arquitectura Civil. Segunda Edición. Madrid, M.DCC.XC.VI. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos. Murcia, 1983.

Matallana, Mariano. Vocabulario de Arquitectura Civil. Madrid, 1848.

Rabasa Diaz, Enrique. Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX. AKAL, 2000.

Roca Traver, Francisco A. El Monasterio de San Miguel de los Reyes. Ajuntament de València, 2000.

Sugrañes, Domingo. Enseñanza Técnico Práctica de Albañilería. Barcelona, s.f. (Circa 1930).

Vitruvio Polion, M. Los diez libros de Architectura. Traducidos por D. Joseph Ortiz y Sanz. Madrid 1787.

La escollera de Bocagrande en Cartagena de Indias (Colombia): una obra maestra de la ingeniería española en ultramar (s. XVIII)

Jorge Galindo Díaz
Joan Fontás Serrat

Sin duda, y como claramente lo afirmaba Miguel Sánchez Taramas —tratadista y destacado profesor de la Academia de Matemáticas de Barcelona—, uno de los aspectos de mayor interés por parte de los ingenieros militares del siglo XVIII era aquél que estaba relacionado con los procesos constructivos tanto de las infraestructuras portuarias como de las obras para su defensa. Y es que a los asuntos propios de su localización estratégica, en el caso de las edificaciones junto al mar se sumaba el de la disponibilidad de materiales que garantizaran su solidez y de manera especial el de la construcción de cimentaciones y obras accesorias levantadas sobre lechos húmedos y blandos de tal manera que se garantizaran tanto la estabilidad y durabilidad de las estructuras como su amparo ante la acción del oleaje y la fuerza de los vendavales.

Si se tiene en cuenta la complejidad que para entonces representaba la ejecución de este tipo de obras de ingeniería y su importancia para la Corona española, ¿de qué manera se llevaba a la práctica su construcción? ¿cuáles eran los recursos técnicos de que disponían los ingenieros militares para su diseño? En esta comunicación se pretende llevar a cabo una búsqueda capaz de dar respuesta a tales preguntas a través del estudio del proceso constructivo de la llamada escollera de Bocagrande, construida en Cartagena de Indias entre 1768 y 1786 bajo la dirección técnica del ingeniero militar Antonio de Arévalo.

La primera parte describe algunas consideraciones técnicas a tener en cuenta en la construcción de diques de escollera a partir de una revisión de algunos tratados de fortificación impresos en Europa a lo largo de los siglos XVI y XVII; a continuación se hace una contextualización de las obras defensivas en Cartagena de Indias y finalmente se presenta el caso de la construcción de la escollera de Bocagrande apoyándose en fuentes primarias que reposan en archivos españoles.

Diques de escollera y cimentaciones en el mar a través de los tratados de fortificación

Desde la aparición de los primeros ejemplares impresos, en los albores del siglo XVI, los tratados de fortificación fueron entendidos como guías para la acción por parte de los ingenieros militares, así como depositarios de soluciones a los diversos problemas que se producían en el curso de la construcción de obras para el ataque y la defensa. En la mayoría de ellos, los primeros retos estaban en la selección del sitio, la disponibilidad de los materiales y por supuesto, en el estudio de las condiciones del suelo sobre el que se habría de levantar la edificación.

Era común clasificar los suelos en dos tipos: húmedos y rocosos. Como parte de los primeros se encontraban los pantanosos, aquellos situados dentro del mar, en el fondo de un río o en las costas, principalmente. Como parte de los segundos estaban los arenosos, arcillosos y rocosos. Y aunque a simple

vista las soluciones a poner en práctica sobre algunos de ellos eran similares, los tratadistas de la fortificación intentaban exponer todas las opciones posibles con el fin de que el ingeniero militar, el arquitecto, dispusiera de un abanico de respuestas de naturaleza técnica que facilitaran sus actuaciones.

Así, el mayor reto estaba siempre en concebir, ejecutar e incluso reparar, las cimentaciones en terrenos húmedos; este asunto fue objeto de interés desde los primeros tratados de fortificación impresos en el siglo XVI. Por ejemplo, en la obra de los italianos Maggi y Castriotto (1583) se explica la manera de usar pilotes o cajones de madera rellenos de piedra como recurso constructivo para las cimentaciones bajo el agua (figura 1); igualmente, ellos describen un sistema de cimentación mediante barcazas que se rellenaban de piedras y mortero para ser hundidas deliberadamente sobre el lugar a cimentar, procurando que quedasen unidas sin que el movimiento del agua llegase a dispersar las rocas puestas sobre el lecho marino.

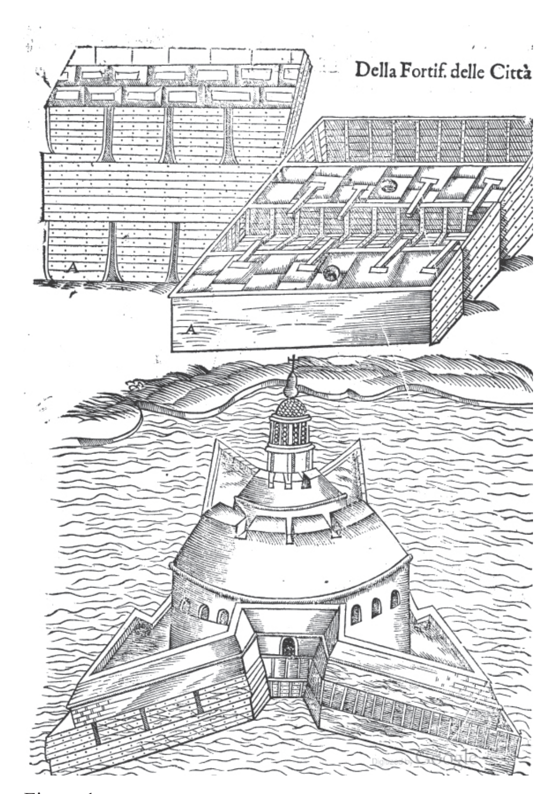


Figura 1
«Come si possa con poca spesa fondar muraglie dove non si trovino pietre grosse, modo da murar sotto l'acqua, e da scaricar facilmente in quella il terreno» (Fuente: Maggi y Castriotto 1583, 77)

Una explicación similar aparece en el tratado del ingeniero militar español Cristóbal de Rojas (1598), relacionada con el uso de cajones hechos de tablas con sus juntas calafateadas y en los cuales se vertía mampostería «muy gruessa, y bien ligada, y trabada con sus ligazones». Conocido en el ámbito castellano como *sistema de cajones flotantes*, se ponía en práctica cuando debido a la profundidad del lecho, no se conseguía un nivel adecuado del suelo sobre el cual cimentar con firmeza:

> Lo primero que debe hacerse es una caja rodeada de estacas espesas de un pie de una a otra, algo mas ancha y larga, que el tamaño del pilar, y por dentro de estas estacas, estado ya bien hincadas fuertemente, se aforraran de tablas bien calafateadas (...) y luego se limpiara la arena y el cascajo de adentro de la caja (...) y llegado a plan y suelo firme, se dará principio con cal viva, para tomar el agua, y desde allí levantar la fabrica (Rojas 1598, 95).

En ocasiones, las piedras del relleno se mezclaban con mortero para que fraguaran dentro del agua; las cajas se colocaban sobre una primera base, una al lado de las otras, y después sobrepuestas en un segundo nivel hasta alcanzar la cota superficial del agua obteniéndose de esta forma un plano a nivel para proceder después a la colocación de las piedras sobre él. Cuando la profundidad del agua lo permitía, se levantaba una estacada de madera formando un anillo en torno al área de la cimentación y se procedía a su achique para así asentar los bloques de piedra de manera directa sobre el fondo húmedo.

Otro método era el de *gavias* o *gaviones*, explicado por el holandés Marolois (1615) quien además lo representó gráficamente dentro de su libro. Se trata sin duda de la manera de salvaguardar una edificación situada en la orilla del mar de tal manera que sus muros quedasen protegidos del embate del mar mediante una escollera artificial levantada con pilotes de madera, amarrados con cuerdas y estacas, dispuestos en filas para que el espacio residual entre ellos se rellenase con cascotes de piedra suelta (figura 2).

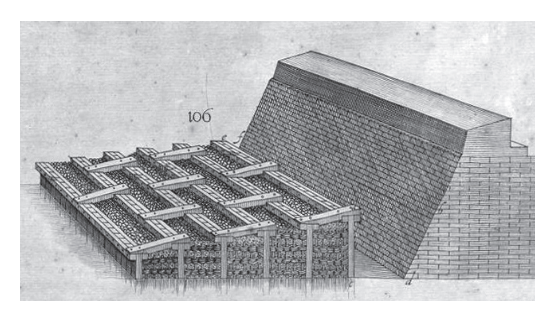


Figura 2
Escollera para la defensa de una muralla junto al mar (Fuente: Marolois 1615, ilustración 106 de la plancha 24)

Explicaciones similares se pueden encontrar en los tratados del francés Founier (1649), del español González (1599), así como en el de su compatriota Fernández de Medrano (1708), quien expone cuatro situaciones relacionadas con la construcción de edificaciones junto al mar siendo la primera «Cómo se puede fabricar en agua corriente o en las orillas del mar y dentro del agua»:

> Esta materia de fabricar en las aguas ò contra ellas es la mas ardua que puede entreprender el mas experto Ingeniero de Campaña, el qual podra bien designiar las defensas y reparos segun el Orden de la Architectura Militar, pero el manejo y practica de la fabrica requiere personal que lo haya exercitado (Fernández de medrano 1708, 221-222).

El método propuesto por Fernández era en la práctica el mismo que ya habían explicado Maggi y Castriotto pero al que antepone uno más simple y barato denominado *de piedras perdidas*: en él, se aprovechaban las mareas bajas para delimitar el área de la construcción y asentar en ella piedras sueltas hasta conformar una *banqueta* o *berma* que protegía la base del cimiento. Las piedras se disponían por *lechos* o *camas* alternadas con lechadas de mortero de cal o puzzolana, hasta alcanzar el nivel del agua en la marea alta.

También era posible usar de manera simultánea varios de los sistemas anteriormente descritos, en función de las variables del sito. Así lo resumía Sánchez (1769) en su obra, que era una traducción del tratado de Müller (1756) publicado poco antes en Londres:

> Las diversas profundidades de agua y naturaleza de los suelos donde se han de establecer los muelles, hacen variar los métodos que deben seguirse en su construcción. Cuando es mucha la profundidad del agua, echan los Franceses gran cantidad de piedra perdida, que rodando las unas sobre las otras, forman con ellas una base tan extendida como sería necesaria sobre la tierra enjuta (…) Pero si se encontrase un suelo de piedra o roca, sería preciso disponer de un cajón sin fondo, cuyos bordes se acomodasen a la irregularidad de la peña, rellenándolos después de mampostería (Sánchez 1769, 120-124).

La exposición de Sánchez Taramas adoptará la forme de un discurso seudo científico cuando en páginas posteriores intente establecer relaciones entre las dimensiones de un muelle que dibuja y la dimensión de sus partes a partir de consideraciones de naturaleza físico matemática:

> Para determinar el espesor que corresponde a los muelles, según los distintos parajes donde se labren, no se puede dar regla cierta, que sea aplicable en todos los casos que ocurran. Este espesor depende principalmente de dos consideraciones: debe ser tal que puedan resistir los muelles al choque impetuoso de las olas en tiempo de borrasca y que resulte el andén en cada uno de suficiente capacidad, para desahogo de las faenas que se ofrecen en los embarcos y desembarcos (…) En este supuesto, si se atiende a que la gravedad específica del agua de la mar es casi la mitad de la del ladrillo, o como dos a cinco comparada con la de la piedra; y al mismo tiempo, que el agua estancada ejercita contra cualquier superficie una presión igual el peso de un prisma de agua, cuya altura es la longitud de la mencionada superficie, y la base del triángulo isósceles (…) se verá fácilmente que un muelle construido en ladrillo, en quien el espesor sea igual a la profundidad del agua, pesará cuatro veces más que la presión de agua que resiste (Sánchez 1769, 129).

Así, de manera progresiva, el discurso de los tratados de fortificación se fue alimentando tanto de experiencias prácticas como de argumentaciones amparadas en la física básica, otorgando al ingeniero militar, más que un repertorio de soluciones, un conjunto de instrumentos conceptuales para operar de manera más libre acorde con las circunstancias propias del momento y el lugar.

Obras marítimas en Cartagena de Indias durante los siglos XVI y XVII

Si bien las primeras obras defensivas proyectadas para la ciudad de Cartagena de Indias pueden ser fechadas en torno a 1586, con la llegada del ingeniero militar Bautista Antonelli, quien delineó la traza de la primera muralla rodeando el núcleo urbano, los trabajos de construcción solo empezaron en 1602 (Zapatero 1979) y estuvieron a cargo del ingeniero Cristóbal de Roda.

Dicha muralla —dotada de trincheras, fosos, revellines y baluartes— contaba con un extenso frente orientado hacia el mar Caribe denominado *frente de La Marina*, de tal manera que desde el inicio de su construcción se vio expuesto a los fuertes vendavales propios de la región, capaces de inundar las zanjas para los cimientos y tirar al suelo los muros de piedra, así como de arruinar los andamios de madera dispuestos para su reparación.

No resulta entonces extraño que entre las soluciones a la situación presentada se formulase la necesidad de recalzar las cimentaciones existentes mediante sillares de gran tamaño, así como la construcción de una escollera sumergida que correría paralela al *frente de La Marina*, reduciendo la acción erosiva del mar, tal como se planteaba en un plano firmado por el ingeniero (?) Juan de Hita y fechado en 1665 (figura 3). Sin embargo, no se tiene noticia de que la Corona española haya adelantado entonces dichas obras: un nuevo proyecto con los mismos fines fue redactado en 1668 por Francisco Ficardo y otro más en 1689 por Juan Bautista de la Rigada (Marco-Dorta 1988).

Ya en el siglo XVIII, entre 1713 y 1714, se presentaron en Cartagena de Indias catastróficos temporales que terminaron de derribar los baluartes y cortinas construidos con anterioridad. Un plan de obras fue entonces liderado por el ingeniero Juan de Herrera y Sotomayor, tal como se entiende a partir de una serie de planos que hacen alarde del manejo de las técnicas constructivas que debían ponerse en práctica. Así, conforme a un plano de 1721 (figura 4) se detalla una sección de nueva la muralla construida con sillares y asentada sobre una grilla de pilotes de madera que sirven como base de la cimentación, además de una escollera que debía construirse en piedra como obra de defensa y el «terraplén para fuerza» construido entre la escollera y la base de la muralla. Esta solución, que por primera vez se dibuja y explica con detalle en un plano dibujado en territorio americano, guarda aquí una clara influencia de la obra de Marolois (1615), ya comentada (figura 2).

Después de la invasión inglesa a Cartagena de Indias liderada por el almirante Vernoon en 1741 y de nuevos vendavales que azotaron la ciudad en 1761, se hizo necesario, a cualquier precio, dar inicio a las obras de reconstrucción del *frente de La Marina*. Ya fallecido para entonces Herrera y Sotomayor, se encargó de las obras al también ingeniero militar Antonio de Arévalo quien elaboró un completo diagnóstico del estado de la muralla (Arévalo 1762), acompañado de planos y perfiles de cada una de las secciones en las que era necesario intervenir.

Así, para este ingeniero, el verdadero origen de los daños estaba en las olas del mar «que baten el pie de

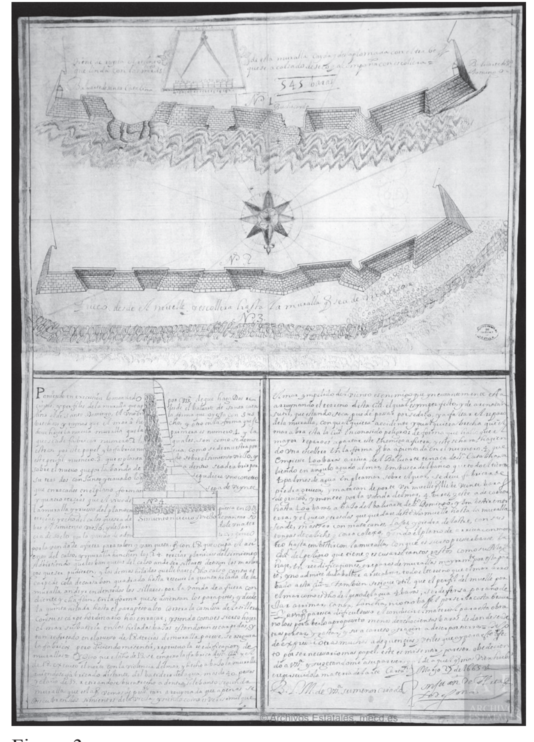


Figura 3
Dibujos del estado de la muralla de Cartagena de Indias y frente de La Marina en 1665, su estado una vez reparada y propuesta de escollera (Fuente: Archivo General de Indias, Panamá, 75)

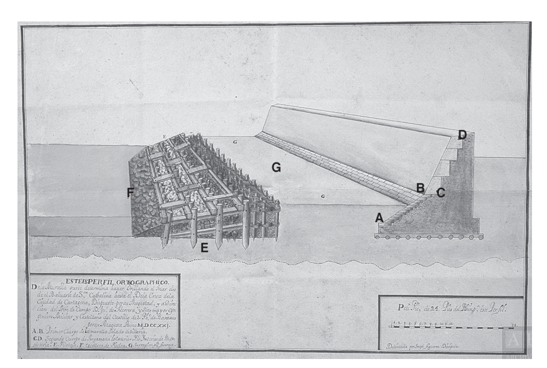


Figura 4
Plano de 1721 que muestra la sección de la muralla a construir y la escollera sumergida. (A) y (B) son el primer cuerpo de la muralla asentado en bloques de sillería, (C) y (D) son el segundo cuerpo hecho de argamasa con paramentos de sillería, (E) son los pilotes, (F) es la escollera de piedra y (G) es el «terraplén para fuerza» (Fuente: Archivo General de Indias, Panamá, 124)

esta Muralla, descargan su furia contra ella, llenas de cascajo, o lajas, piedras peladas, arenas gruesas, caracoles y otras cosas, que (…) van gastando la cantería en la altura del nivel de la marea baja» (Arévalo 1762, 5).

Es importante precisar que para entonces el escaso conocimiento científico sobre los efectos del oleaje dificultaba la resolución de problemas de esta naturaleza; los tratados de fortificación que se usaban en la formación de los ingenieros españoles describían procesos de canalización, construcción de esclusas, puertos y faros pero nada que ilustrase sobre la manera de hacer frente a los efectos del mar sobre las murallas a causa de las olas (Sánchez 2015). Sin embargo, el estudio detallado redactado por Arévalo le permitió elaborar una teoría sobre la acción erosiva del mar con la que propuso una solución constructiva, retomando las ideas de algunos de sus antecesores: construir la escollera sumergida, paralela a las cortinas, pero unidas entre sí por 13 brazos perpendiculares de tal manera que se formaran áreas bien definidas para después drenarlas lentamente hasta alcanzar un fondo firme y finalmente ser rellenadas con piedra y cascajo (figura 5). Las obras empezaron, esta vez sí, en 1765.

La escollera, de 1.631 varas castellanas (1.354 m) de largo —comprendida entre los baluartes de Santo Domingo y Santa Catalina—, tenía un grueso de 5 varas castellanas (4,15 m) y estaba formada por las siguientes partes (figura 6):

– Un dique de pilotaje encintado y amordazado (K), de 5 varas de ancho (4,15 m) construido con 4 hiladas de estacas usando maderas nativas, clavadas a una profundidad de 7 varas (5,81 m), encintadas, amordazadas, cargadas de piedra seca y coronadas de cantos en bruto.
– Un empedrado interior que le sirve de estribo (L), de 7 varas de ancho (5,81 m).
– Un enrocamiento exterior (M), de 15 varas de ancho (12,45 m).

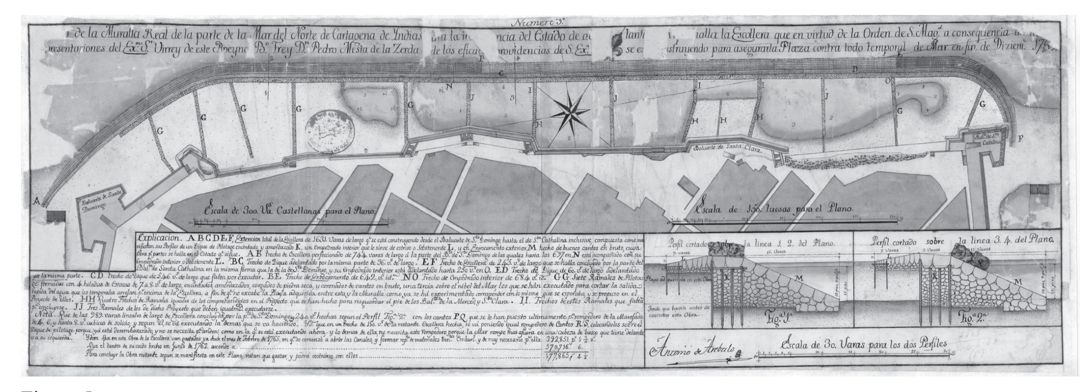


Figura 5
Plano de la Muralla Real indicando el trazado de la escollera y los brazos perpendiculares entre ambas, 1769 (Fuente: España. Ministerio de Defensa. Instituto de Historia y Cultura Militar. Archivo General Militar de Madrid. Sig. COL 08-04)

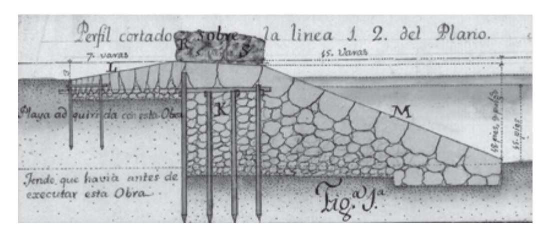


Figura 6
Detalle de la escollera correspondiente al plano anterior, 1769 (Fuente: España. Ministerio de Defensa. Instituto de Historia y Cultura Militar. Archivo General Militar de Madrid. Sig. COL 08-04)

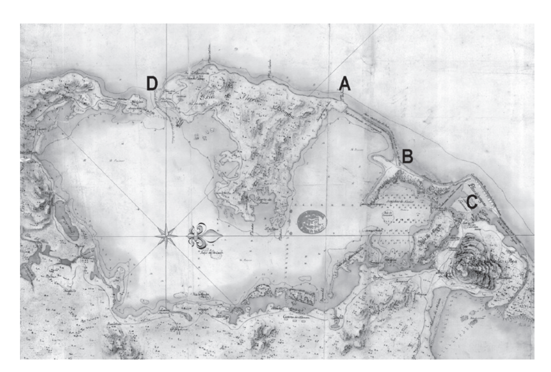


Figura 7
Plano sin fecha y sin autor, que muestra el paso por Bocagrande entre la isla de Tierrabomba (A) y la punta de Icacos (B), en proximidades del caso urbano de Cartagena de Indias (C). El paso por Bocachica se representa con la letra (D) (Fuente: España. Ministerio de Defensa. Instituto de Historia y Cultura Militar. Archivo General Militar de Madrid. Sig. COL 17-02)

- Dos macizos (R) y (S) dispuestos sobre el cuerpo central, con el fin de romper las olas y en vista de que el dique no se usaría como andén.
- En las áreas delimitadas entre la escollera y la muralla se fue formando una playa artificial situada a 15 pies castellanos (4,5 m) por encima del nivel original de las arenas.

Los trabajos de construcción terminaron en 1771 y conforme a lo previsto, la escollera no quedó visible pues terminó cubierta por las arenas que formaron una playa delante del *frente de La Marina*, aún existente. Los diseños se cumplieron casi al pie de la letra aunque dos adiciones posteriores mejoraron ostensiblemente sus condiciones: por una parte, entre 1779 y 1800 se construyó, también bajo la dirección de Antonio de Arévalo, un espigón de cantería frente al baluarte de Santa Catalina (en el extremo de la derecha) y entre 1789 y 1798 él mismo aprovechó el tramo de la muralla adyacente a ese mismo baluarte para construir un edificio destinado al alojamiento de las tropas dotado de bóvedas ojivales de albañilería a prueba de bombas.

La escollera para el cierre de Bocagrande en Cartagena de Indias en el siglo XVIII

Ejecutada entre 1768 y 1786, la llamada *escollera de Bocagrande* es una obra subacuática construida con el fin de impedir la entrada de embarcaciones por la abertura de Bocagrande, entre la punta de la isla de Tierrabomba y la punta de Icacos. Si bien este estrecho fue empleado durante décadas para acceder a la bahía de Cartagena, el hundimiento de varios galeones sucedido en 1640 obstruyó el paso por el canal, obligando a usar de manera exclusiva la entrada por Bocachica; sin embargo, la reapertura natural de Bocagrande, un siglo más tarde, exigió formular varios proyectos destinados a cerrarlo artificialmente de manera pronta, eficaz y a bajo precio (figura 7).

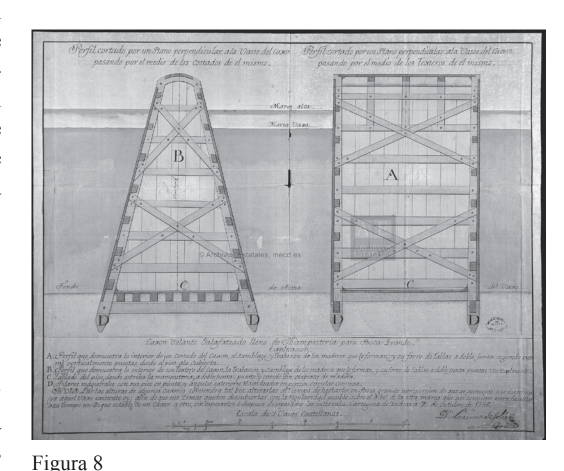


Figura 8
Plano de 1756 firmado por Lorenzo de Solís, que muestra los cajones de madera proyectados pare el cierre de Bocagrande (Fuente: Archivo General de Indias, Panamá, 155)

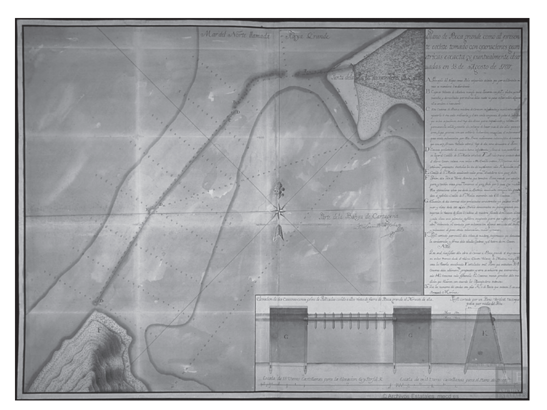


Figura 9
Plano de 1757 firmado por Lorenzo de Solís, que muestra el trazado del cierre de Bocagrande (Fuente: Archivo General de Indias, Panamá, 156)

Así, una de las varias soluciones para el cierre de Bocagrande fue diseñada por el ingeniero Lorenzo de Solís en 1753, a partir del uso de cajones de madera, *calafateados y rellenos de mampostería*, que debían fabricarse con un armazón de madera maciza que adoptaba una sección trapezoidal, recubierta de tablas a doble junta y con un fondo también de madera, lo suficientememte resistente para soportar el peso de las piedras. Los extremos inferiores de la armazón se hincaban sobre el suelo blando del fondo del mar mientras que el extremo superior quedaba por encima del nivel de las aguas con la marea alta (figura 8). Entre los cajones, separados entre sí por una distancia de 10 varas castellanas (8,3 m) se situaba una *cadena de madera* que impedía el paso de las embarcaciones.

Ante las dudas que brindaba la efectividad de la propuesta, algunos cajones se arrojaron al mar a

Figura 10
Plano de 1769 firmado por Antonio de Arévalo que muestra el trazado del dique para el cierre de Bocagrande y los diferentes tipos de escollera con que debía construirse (Fuente: España. Ministerio de Defensa. Instituto de Historia y Cultura Militar. Archivo General Militar de Madrid. Sig. COL 16-05)

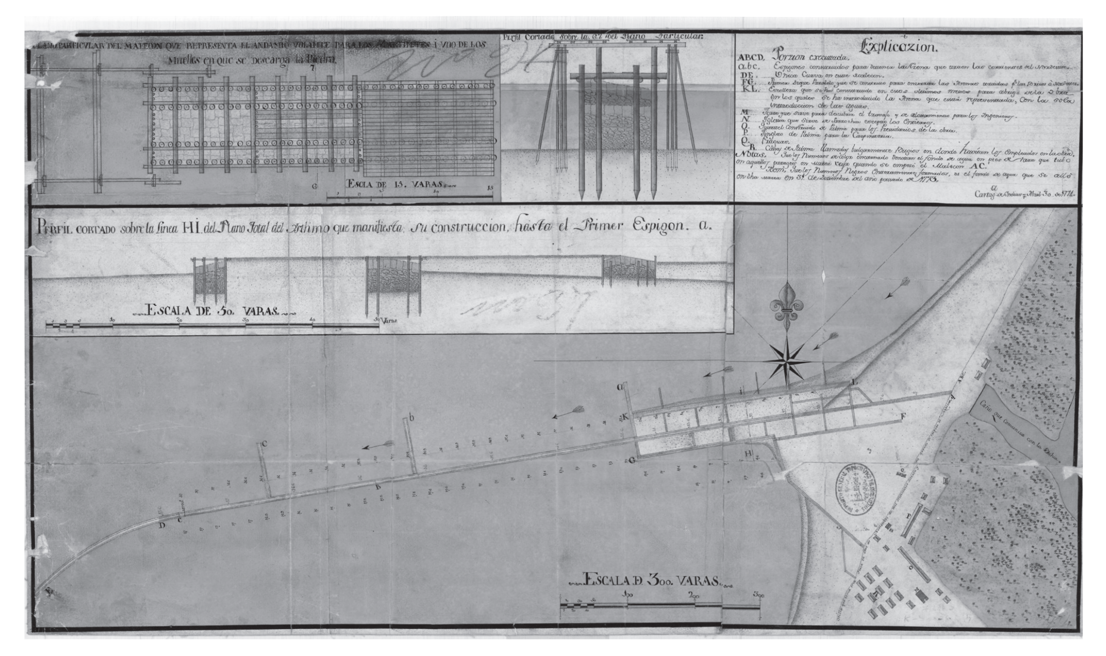


Figura 11
Plano de 1774 firmado por Antonio de Arévalo que muestra los avances en la construcción del malecón. Nótese la sección a través de las tres escolleras en paralelo y los bancos de arena que se forman entre ellas (Fuente: España. Ministerio de Defensa. Instituto de Historia y Cultura Militar. Archivo General Militar de Madrid. Sig. COL 19-10)

modo de experimento, varios de ellos rellenos con cascajos, otros con polvo de ladrillo y otros con mampostería, de tal manera que después de algunos años, en 1757, se examinó su estado de conservación. Al hecho de que los resultados técnicos no fueron del todo favorables —se afectaron con un molusco llamado *broma*, algunos fueron arrastrados por las corrientes y en otros hubo hundimientos—, se sumó el que los 142 cajones que se requerían para completar la obra resultaban demasiado caros para la Corona de tal manera que la propuesta se desechó.

Sin embargo, lo más importante de este ejercicio experimental, fue que se definió un trazado para la escollera, partiendo de la *punta de la playa Terrateniente*, en Cartagena, hasta la isla de Tierrabomba, pasando por encima de los vestigios del viejo fuerte de San Matías (figura 9).

Una Real Orden del 15 de octubre de 1768 encargó el proyecto del cierre de Bocagrande al ingeniero Antonio de Arévalo, quien para su cumplimiento redactó de nuevo un informe (Arévalo 1769) en el cual, después de describir y analizar las soluciones previamente ejecutadas, propuso la construcción de un dique de 3.600 varas de largo (3 km aproximadamente), cuya construcción solo se terminaría en 1786.

Un plano que seguramente hacía parte de dicho informe (figura 10), representa no solo el estado de las costas del canal de Bocagrande sino que incluye la localización de las canteras, fuente de materias primas para la obra, así como también el trazado del dique y los diferentes tipos de escolleras que debían construirse de acuerdo con su posición y su función. Estas tipologías, sin embargo, se fueron modificando a medida que los trabajos progresaron, tal como se registra en numerosos planos que acompañarán en sus años de construcción los informes de avance de las obras.

El primer tramo del dique (punto F en la figura 10) fue denominado por Arévalo como *el malecón* y correspondía a la parte que se desprendía desde el itsmo (DF) que lo comunicaba con el casco urbano de Cartagena de Indias (A). Dicho itsmo era en realidad un banco de arena estrecho y bajo, por encima del

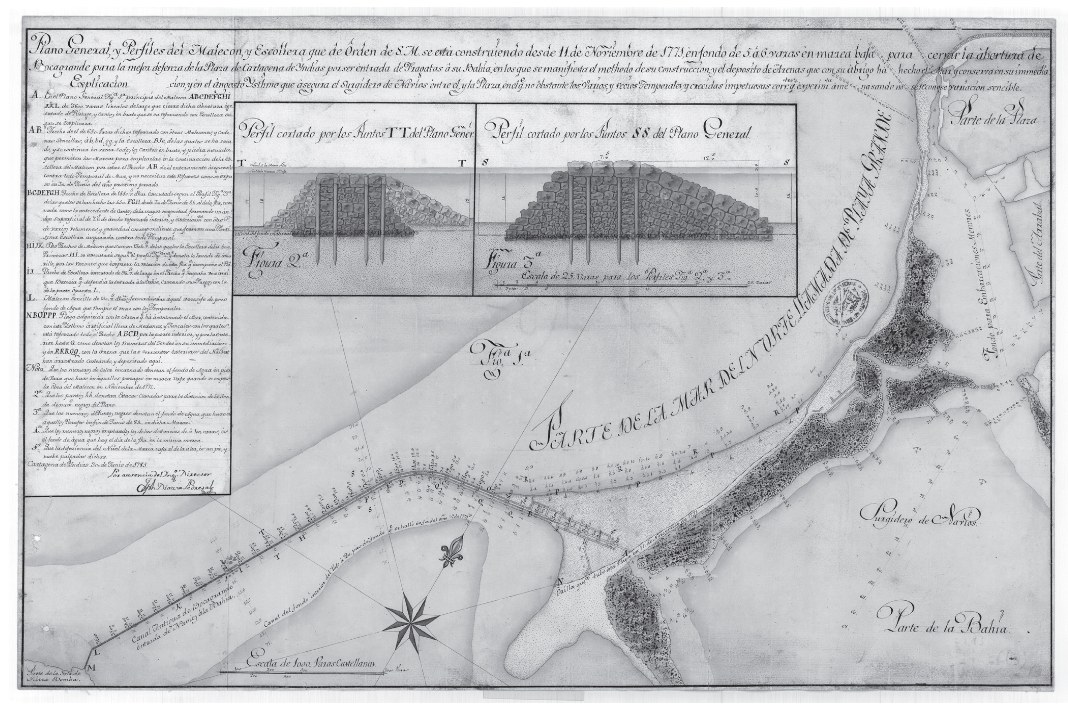


Figura 12
Plano de 1785 que muestra el dique de Bocagrande prácticamente terminado. Nótese los dos perfiles de la escollera, con andén por encima del nivel del mar y sin él (Fuente: España. Ministerio de Defensa. Instituto de Historia y Cultura Militar. Archivo General Militar de Madrid. Sig. COL 19-08)

cual pasaba el mar en sus crecientes y marejadas dando origen a caños y manglares anegadizos hacia el lado de la bahía interior (C).

El *malecón* formaba con el itsmo un ángulo obtuso de tal manera que la arena movida por el mar se quedaba allí atrapada, dando origen a una playa ancha y estable junto a la cual se construyó el campamento para alojar a los obreros que participaban en las obras. Por su parte, el *malecón* estaba formado por tres escolleras en paralelo que alcanzarían a su terminación una longitud de 650 varas (540 m), confinadas transversalmente por espigones de tal manera que los espacios ortogonales entre ellos también se fueron llenando de arena hasta conformar una superficie horizontal por encima del nivel medio del mar (figura 11).

Interesante es aquí el dispositivo diseñado por Arévalo para conformar las escolleras: en el espacio formado entre cuatro filas de pilotes de madera clavados sobre el lecho del mar y con sus extremos superiores confinados entre vigas —también de madera—, se vertían hiladas de piedra desde un andamio concebido para tal fin, dotado de un piso de tablas a cada lado y dejando en la mitad un espacio vacío desde el que se arrojaban las piedras que se iban compactando por medio de un martinete.

El área del *malecón* terminaba poco antes de que el dique —ahora formado por una sola escollera— diese un giro para continuar después con un trazado recto hacia el extremo norte de la isla de Tierrabomba. En este tramo, cuyo proceso constructivo se adelantaba siguiendo las mismas rutinas técnicas empleadas en el *malecón*, la escollera se completaba con dos planos inclinados, uno a cada lado, con el fin de amortiguar el embate del mar. En algunos tramos, el nivel de la escollera quedó por encima del nivel del mar conformando un andén, mientras que en otras quedó ligeramente sumergida con el fin expreso de «permitir el paso de las mareas y crecientes del

mar, para refrescar con ellas las aguas interiores de la bahía» (figura 12).

El dique de Bocagrande aún existe y en días de marea baja es posible apreciar su trazado por debajo del nivel del mar, en especial desde las edificaciones altas que en el curso de los últimos años se fueron construyendo sobre los terrenos de la península del mismo nombre.

Conclusiones

Una mirada sobre los tipos de escolleras construidos en Cartagena de Indias, pone en evidencia, ante todo, la diversidad y complejidad de las soluciones formales y tecnológicas puestas en prácticas ante las dificultades que conlleva su construcción.

Al pasar revista a los tratados de fortificación impresos hasta mediados del siglo XVIII y a sus contenidos acerca de este tipo de construcciones, resulta evidente que no existe en ellos un tratamiento extenso y preciso del tema, limitándose a brindar orientaciones de tipo genérico, aplicables a casos relacionados con los aspectos de la cimentación sobre terrenos húmedos o aplicables a la construcción de puertos. El tratado impreso se convierte así en una guía para el entendimiento, más que en una guía para la acción.

Resulta evidente que los problemas resultan ser diferentes para cada caso; sin embargo, el ingeniero militar parece estar dotado de un cuerpo conceptual que le permite el análisis para el diseño y la acción, de tal manera que cada reto es resuelto de manera independiente, permitiéndose incluso un espacio para la innovación y la experimentación.

Lista de referencias

Arévalo, Antonio. 1762. *Relación de consistencia que manifiesta el estado actual en que se halla la Muralla Real de la Mar del Norte de Cartagena de Indias*. Manuscrito (12, VI, 1762). Sig. 6893 / 5-2-5-7. Servicio Histórico Militar, Madrid, España.

Arévalo, Antonio. 1769. *Discurso que ha formado ... D. Antonio de Arévalo ... para la inteligencia del estado en que se halla la abertura y fondo de Bocagrande*. Manuscrito (5, 2, 5, 14). Servicio Histórico Militar, Madrid, España.

Fernández de Medrano, Sebastián. 1708. *El Architecto perfecto en el arte militar* (5 tomos). Amberes: Henrico y Cornelio Verdussen.

Fournier, Georges. 1649. *Architetura Militar*. París: Imprenta de Juan Henault.

González, Diego. 1599. *Examen de fortificación*. Madrid: Imprenta del licenciado Varez de Castro.

Maggi, Girolamo y Castriotto, Fausto. 1583. *Della fortificatione delle città, libri tre*. Venecia: Rutilio Borgominiero.

Marco-Dorta, Enrique. 1988. *Cartagena de Indias: puerto y plaza fuerte*. Bogotá: Fondo Cultural Cafetero.

Marolois, Samuel. 1614. Fortification, ou Architecture militaire. En *Opera mathematica*. La Haya: Hendrik Hondius.

Müller, John. 1756. *A treatises containing the elementary parts of fortifications*. Londres: J. Nourse.

Rojas, Cristóbal. 1598. *Teoría y práctica de fortificación*. Madrid: Luis Sánchez.

Sánchez, Miguel. 1769. *Tratado de fortificación*. Barcelona: Tomas Piferrer.

Sánchez, José María. 2015. La muralla del vendaval de Cádiz. En *Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII centuries*, editado por Pablo Rodríguez-Navarro, 303-309. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Zapatero, Juan Manuel. 1979. *Historia de las fortificaciones de Cartagena de Indias*. Madrid: Ediciones Cultura Hispánica.

La reparación del castillo de Montiel (Ciudad Real) a través de los mandatos de obra de 1478: estudio documental y material

David Gallego Valle
Jesús Manuel Molero García

El Conjunto arqueológico del castillo de La Estrella se ubica en la población de Montiel (Ciudad Real), ocupando un cerro testigo alrededor del que ha crecido la población actual (Figura 1). Este yacimiento, sobre el que venimos trabajando en distintas campañas desde 2012,[1] se está convirtiendo en un sitio de referencia para poder avanzar en el conocimiento de la Historia de la Construcción, ya que sobre el mismo se conserva una abundante documentación escrita de cronología bajomedieval que contiene datos muy relevantes para el estudio de esta disciplina.

Esta fuente son los llamados *Libros de visita* de las órdenes militares, en nuestro caso pertenecientes a la Orden de Santiago, que se corresponden con una serie de inspecciones, muy detalladas en muchos casos, que estas instituciones realizaban a sus posesiones y que se giraban de forma más o menos regular a lo largo del tiempo.En estos textos, como estudiaremos en los siguientes epígrafes, quedan consignadas tanto descripciones de los bienes que se visitan como mandatos de obras a realizar, siendo estos últimos muy relevantes para poder estudiar desde el tipo de contratos que se suscribían, tasaciones, formas de ejecución, maestros encargados de los trabajos, materiales, etc.

En una de estas visitas, la realizada a la encomienda de Montiel en 1478 (Archivo Histórico Nacional —A.H.N.—, Órdenes Militares —OO.MM.—, Libro1063-C: Montiel, 1478, pp. 223-236),[2] se mandan realizar una serie de actuaciones en la fortaleza que, gracias a los estudios arqueológicos de paramentos y de excavación, hemos podido comprobar que efectivamente se llevaron a cabo, al menos en alguno de sus puntos, algo que no solía ser lo más habitual. Por ello, dedicaremos este texto a analizar el conjunto de obras realizadas en el castillo, para lo que abordaremos en un primer momento cómo era la fortaleza durante este periodo, después analizaremos el sistema de inspección y tras ello, estudiaremos en detalle el apartado dedicado a las reparaciones mandadas hacer en la fortaleza y su plasmación en el registro arqueológico.

La villa y castillo de Montiel en la segunda mitad del siglo XV

La población medieval de Montiel se localizaba en el cerro que actualmente ocupa el castillo (Figura 2), ocupando un gran espacio que llegó a tener, en los momentos de mayor auge, hasta 11 hectáreas de extensión.En este sentido sabemos que desde al menos el siglo IX, se convirtió en el principal centro de poder de la comarca del Campo de Montiel, constituyéndose primero como un *hisn* andalusí (ss. IX-XIII), con un potente núcleo de población asociado, y tras la conquista cristianade1227mantuvo su función como centro articulador del territorio, pero ahora como sede de una de las principales encomiendas de la Orden de Santiago.

A partir de mediados del siglo XIII se comenzó a configurar la villa cristiana de Montiel, gracias fun-

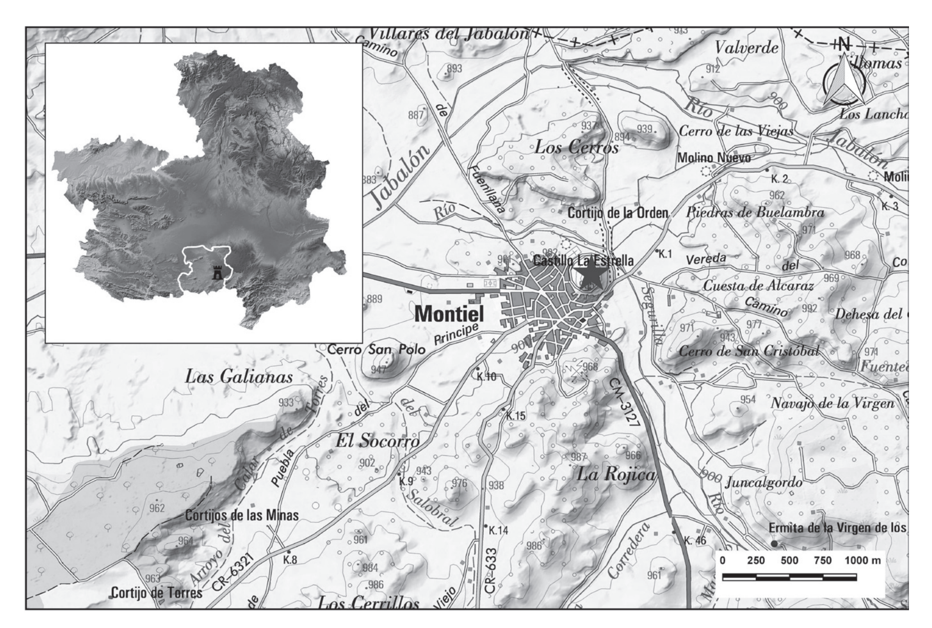


Figura. 1
Localización del Conjunto Arqueológico Castillo de La Estrella en el mapa topográfico nacional a escala 1:25.000

damentalmente ala concesión del villazgo y el fuero de Cuenca (1243) que fue otorgado por el maestre Pelay Pérez Correa (Chaves 1741, 42 v y 42 r). Es por estas fechas cuando se producen las primeras obras de transformación de la antigua fortaleza andalusí y su adaptación a las necesidades de la nueva población cristiana. En concreto sabemos que se empieza a construir la cerca urbana de la villa, de la que hemos podido documentar un tramo en excavación arqueológica. Sabemos que esta murallabajaba desde la base de la torre del Homenaje, pasando por la antigua parroquia medieval de Montiel, hasta volver a ascender hacia el noroeste, a la vista del camino del Pozuelo (*Relaciones de Felipe II*, ed. Campos 2009, 667-669). En el interior de la villa, dejando de lado la presencia de las zonas de hábitat, el principal edificio era la parroquia de Ntra. Señora de La Estrella, exhumada por completo hoy en día. Se trata de un raro ejemplo de las primeras iglesias de las órdenes militares, con unas características arquitectónicas de transición entre el románico y el gótico mudéjar, trazada con una planta rectangular de tres naves, testero plano y cubierta de bóvedas de ladrillo al interior (Molero y Gallego 2018, 975-1002).



Figura 2
Vista general del castillo de La Estrella sobre el imponente cerro testigo sobre el que se asienta

Fuera de la zona cercada existieron diversos arrabales, así como áreas de producción hortofrutícola, que estamos comenzando a conocer y donde hemos identificado, por ejemplo, la presencia de una posible tenería en las proximidades del cauce del río Segurilla. En el costado norte, también extramuros, se ubicaba el convento de la vicaría de Santiago, hoy convertido en la ermita del Santo Cristo de la

Expiración, lugar donde el vicario ejercía su jurisdicción sobre asuntos eclesiásticos en el territorio del Campo de Montiel.

No obstante, el principal edificio era sin duda la fortaleza que coronaba el cerro, ocupando toda el área superior del mismo. En este lugarla Orden de Santiagodebió realizar en los primeros años de ocupación del mismo (1227-c. 1250), pequeños trabajos de adaptación del antiguo *hisn* andalusí, pero a partir de mediados del siglo XIII acometió obras de mayor importancia, como fue la construcción de una primitiva torre del homenaje, la conocida como «torre Mocha». Posteriormente, posiblemente a inicios del siglo XIV, el desarrollo de la encomienda de Montielconllevó que se construyera un gran castillo-casa de la encomienda, ubicado en la mitad oeste del cerro, en un caso similar a los cercanos de Montizón y Segura de La Sierra,integrando las defensas de periodos anteriores con funciones de antemurales y recintos bajos.

El castillo de Montiel en la segunda mitad del siglo XV

En estas fechas comienza una lenta decadencia del enclave de Montiel en favor de las pujantes poblaciones que están surgiendo en su entorno, como son los casos de Villanueva de los Infantes y Villahermosa, antiguas aldeas dependientes del mismo que posteriormente alcanzarían el título de villa. Enestos momentos, como vemos en los libros de visita más antiguos que se conservan, la villa ubicada en la ladera prácticamente había desaparecido (A.H.N., OO.MM., Libro 1233. Montiel, 1468, pp. 63-67), citándose la presencia de la cerca y de la iglesia casi de modo anecdótico. En su lugar, se había desarrollado un nuevo callejero y caserío en la zona llana, creciendo en torno a lanueva parroquia de San Sebastián.

En la segunda mitad del siglo XV la fortaleza aún se mantenía en uso, pero con notables deficiencias por

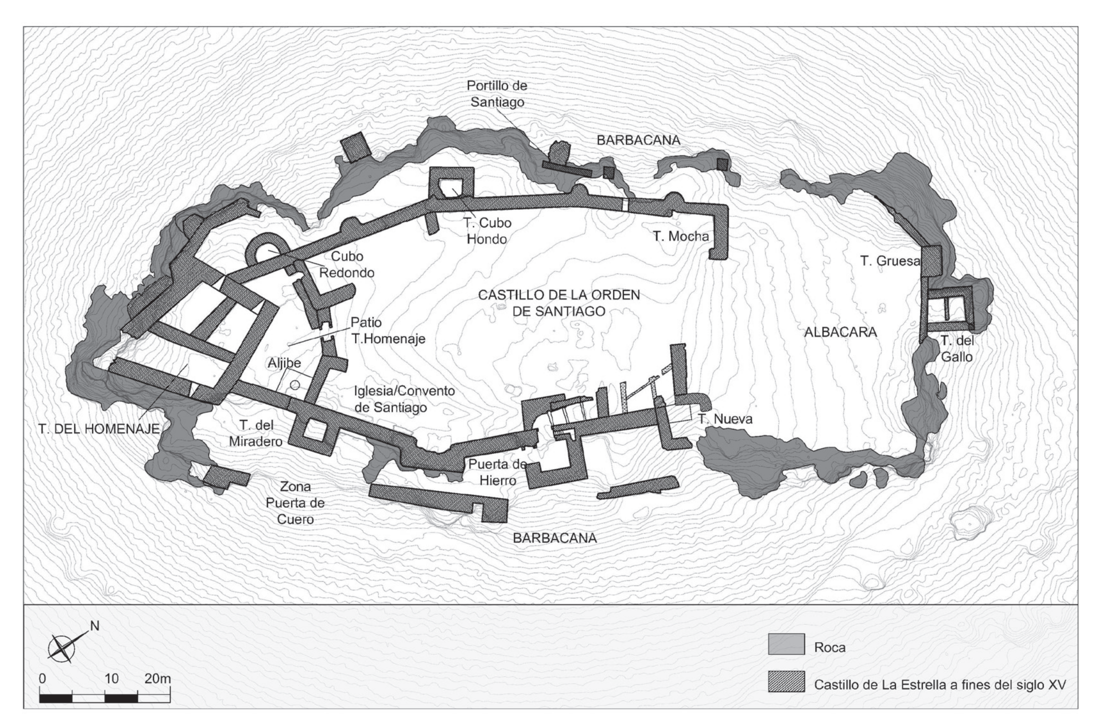


Figura 3
Planta del castillo de La Estrella con la identificación de las principales estructuras citadas en los libros de visita

falta de un programa real de conservación de sus estructuras. Esto se explica por varios factores, entre otros, los altos costes de mantenimiento de estos grandes edificios y el escaso compromiso de las dignidades de la orden por acometer estos gastos; en segundo lugar por el absentismo de los comendadores y su dedicación cada vez más evidente a las labores cortesanas y rentistas, y por último, por la construcción de nuevas casas de encomienda ubicadas en lugares más cómodos y apropiados para su uso residencial, con la incorporación incluso de elementos de carácter palaciego (Molero 2014, 238). Este hecho, junto con las recurrentes conflictos bélicos que había sufrido el enclave durante las guerras de poder por el maestrazgo de laOrden de Santiago, en especial el virulento asedio que sufrió en 1449 (*Crónica del Halconero*, p. 534), había provocado que el recinto fortificado llegara en una situación precaria. Éste es un hecho común en la mayor parte de los elementos castrales de lasórdenes militares, que se irá agravando con el tiempo hasta el abandono de la gran mayoría de sus castillos entrado ya el siglo XVI.

A pesar de todo, en el momento histórico que estamos tratando, el edificio aún mantenía a grandes rasgos su aspecto y morfologíaoriginal. Estaba formado por un triple perímetro defensivo: la barbacana, el castillo propiamente dicho y la torre del Homenaje (Figura 3). El primero se correspondía, prácticamente en su totalidad, con el antiguo *hisn* andalusíque en estos momentos aún contaba con siete cubos más la llamada torre de Cuero, construcción que daba acceso por su interior a la liza. El segundo cinturón defensivo estaba formado porel castillo cristiano, de construcción santiaguista, que conllevó una profunda transformación de las estructuras andalusíes anteriores (Gallego y Molero, 2016). Este recinto estaba compuesto por un potente perímetro murado jalonado de torres huecas, tanto semicirculares como cuadrangulares, y en el que hay que destacar los siguientes elementos: en primer lugar el sistema de acceso en recodo por la torre de Hierro; a su lado, la iglesia-convento dedicada a Santiago, que ocupaba prácticamente toda la zona sur de la fortaleza y, en el área norte, la presencia de todo un conjunto de estancias de servicio y almacenaje.Finalmente, el último reducto defensivo del castillo estaba constituido por la torre del Homenaje,en el extremo NO. del conjunto, en la zona más encrespada del cerro que la hacía inaccesible desde el exterior y que además, estaba separada por un muro del resto de la fortaleza, contando con un patio interno que la antecedía.

La Visita a Montiel de 1478

El uso de los libros de visita para estudiar desde distintas perspectivas el patrimonio construido de las órdenes militares, ha sido tratado ya por diversos investigadores que han demostrado la importancia de estas fuentes para analizar los edificios históricos (Ortiz 1996, 1101-1111; Palacios 2000, 751-760; Molero 2005, 657-680; Eiroa 2005, 543-562; Jiménez Rayado, Retuerce y Segura 2009, 13-46; García Carpintero y Gallego 2018, 80-81). Para el Campo de Montiel contamos con varios trabajos que han utilizado este tipo de fuente (Madrid y Medina 1999, 1047-1058; Fernández-Pacheco y Moya 2015, 183-225), destacando su uso para el estudio de los edificios religiosos (Molina2006). Por tanto, no queremos ser redundantes en el análisis general de este tipo documental, por lo que nos centraremos en el estudio del caso que analizamos, *La Visitación a la Encomienda de Montiel en 1478* y más concretamente, la parte de la misma dedicada a la fortaleza.

La vista a la encomienda de Montiel en 1478

El documento, inserto en una visitación más amplia a toda la provincia de Castilla, responde a la forma básica de «las visitas» santiaguistas (Ortiz1996, 1105-1007), tanto en la estructuración del texto, los cargos y personajes que aparecen en el mismo, así como la labor realizada durante la inspección propiamente dicha. Los visitadores encargados de llevarla a cabofueron designados en el Capítulo General de la Orden de Santiago celebrado en las villas de Asuaga y Llerena en 1477. En este caso, se trata de tres personajes importantes dentro del organigrama institucional de los santiaguistas: los comendadores Ruy Días Zerón y Pero Gonçales de Calvent, así como el provisor y capellán del maestre Alfonso de Cárdenas, llamado Alfonso de Rivera Ferrandes. Se cumple por tanto la costumbre de nombrar un equipo donde existan tanto representantes del ámbito militar de la institución, como de la rama religiosa de la misma (Rodríguez 1985, 189; Molero 2012,

193-194), destacando en este caso que sea el propio confesor del maestre quien figure entre la comitiva. La excepcionalidad de que se nombren tres visitadores, pues normalmente eran dos, está relacionada con la duración de la visita que tardó más de un año en completar su misión, debido fundamentalmente a lo vasto del territorio a inspeccionar.

En primer lugar se realiza la anunciación, mediante pregón público, de la llegada de los visitadores a la villa de Montiel. Esta fórmula tenía por intención que cualquier persona pudiera exponer sus reclamacionescontra las dignidades de la orden encargadas de la gestión de la encomienda o de alguno de sus bienes, que no podían estar presentes durante este momento para que hubiera libertad de delación. Estaslíneas son fundamentales, ya que muestran una faceta de los visitadores muy interesante, como vehículo de transmisión de la autoridad del maestre y distribuidores de justicia entre todos los vasallos de la orden.

El texto, a partir de este momento, se estructura en función de la visita a los lugares que componen la encomienda. En primer lugar se hace la inspección del castillo, sobre el que volveremos más adelante, seguidamente se centra en la descripción de las posesiones rentitas, en especial los hornos, casas, molinos, etc., de los que se incluyen sus cuentas que proporciona el propio comendador. Este apartado es interesantísimo como fuente histórica, en especial para la reconstrucción dela economía y paisaje medieval, ya que se hace un inventario completo de los lugares que posee la orden dependientes de la encomienda de Montiel, así como de las rentas que cada uno de ellos generaba.

Se continúa la visita con la inspección de los elementos religiosos de Montiel. En primer lugar la iglesia parroquial, en este caso el nuevo edificio dedicado a San Sebastián, tanto desde el punto de vista material —elementos litúrgicos, edificio y rentas— como de la observancia de los preceptos religiosos por parte del curato y fieles.Posteriormente los visitadores se dirigen ante el vicario de Montiel, Alfonso Ferrandes de Ocaña, freire de Uclés y cura de la villa de Membrilla, que tuvo que ocupar el cargo ante la renuncia de Alfonso Peres al convertirse en prior de Montalbán. Entre las posesiones que tenía la Vicaría, institución con gran poder en estos momentos, destacan algunos molinos y ciertas tierras en el donadío de Abrilejos.

La inspección al castillo

La visita al castillo (A.H.N., OO.MM, Libro 1.063-C: 1478, pp. 224-229) comienza con la llegada a la denominada «barrera», correspondiente con la barbacana en otros textos, que rodea todo el castillo salvo la torre del Homenaje. No se cita la muralla urbana, quizás ya en muy mal estado, pero se menciona al final del texto al recordar que «la misma eran obligados a repararla todos los concejos del Campo de Montiel para caso de necesidad» (A.H.N., OO.MM, Libro 1.063-C: 1478, p. 229). En la visita se describe la barrera o antemuro como una cortina flanqueada por siete cubos, de los que no se dan sus nombres, algo que si veremos en detalle, por ejemplo, en la inspección de 1500 (A.H.N. OO.MM. Libro1236: 1500, pp. 354-355). Posteriormente se centran en la puerta de entrada a este recinto, la puerta de Cuero, formada por una torre-puerta, donde se sitúa uno de los puestos de guardia.

Tras salvar el primer accesodel castillo y avanzar por la liza, llegan a la puerta principal, momento en el que el alcaide, Francisco Pajaso, por mandato del comendador, hace entrega de la fortaleza a los visitadorescon la fórmula habitual «en lo alto y en lo bajo». Seguidamente cruzan la puerta de Hierro, para ascender por un rampa en doble codohasta alcanzar el patio interno, como hemos podido documentar en la excavación arqueológica de este espacio. A partir de este momento comienza la descripción de las estructuras interiores del castillo que, por la narración que siguen, creemos que se hacía mediante un recorrido desde los adarves. La información que se recoge sobre las estructuras interiores nos habla de un espacio fuertemente atomizado, aunque no se describen con excesivo detalle las distintas estancias. En otras visitas, como de la de 1500 (A.H.N. OO.MM, Libro 1236:1500, pp. 355-356), se relata cómo en el frente norte estaba situada una gran cámara con tres estancias dedicadas a bodegas, establos y cocinas. Por su parte, en el área sur, se ubicaba el convento de Santiago, formado por una iglesia de cierta entidad que, para fines del siglo XV, había sido parcialmente ocupada por una tahona a los pies del edificio.

Posteriormente los visitadores se dirigen al tercer recinto, compuesto por la torre del Homenaje, separada del resto del castillo por un muro con sus buenas puertas de cantería y con la presencia de hasta ocho garitas. Ante la misma se abre un patio, donde

existía un aljibe y, frente al mismo, un troje en cubo para almacenar el cereal. Muy interesante es la mención de la existencia en esta zona de un ingenio, que posiblemente se trate de algún tipo de pieza de artillería de torsión, como se desprende de su descripción: «esta un asiento para un grandengenio, el cual estaba cogido e guardado debaxo de una bóveda para tiempo de nescesydad con sus piedras e cobertiços»(A.H.N., OO.MM, Libro 1.063-C: 1478, p. 226).

La torre del Homenaje, a la que se accedía por un puente levadizo, era una construcción robusta dividida entres pisos, cubiertos los primeros con bóvedas y al final una terraza defensiva. El retrato del interior de cada una de estas plantas es una fuente de información de primer orden para el conocimiento del día a día en una fortaleza medieval. En la primera se documenta la presencia de tinajas de vino, aceite y vinagre, hasta un total de veintinueve. También se mencionan diez de trojes realizados de cal y canto, así como varias cargas de leña y sal. En la segunda bóveda se localiza la armería, donde se contabilizan tanto armas blancas como otras ya relacionadas con la pólvora, como espingardas y truenos. No obstante, se echa de menos la presencia de algún tipo de elemento de residencia del alcaide o comendador, quien muy probablemente en estos momentos residiera ya en la propia villa de Montiel. Se cierra la descripción en la terraza de la torre, donde se situaba un cuerpo con dos campanas.

Las reparaciones del castillo de Montiel en 1478

Muy probablemente, la excepcionalidad de la fuente que estamos analizando para avanzar en el conocimiento de la historia de la construcción, es que parte de las obras que se mandaron realizar fueron llevadas a cabo y ha quedado reflejo material de las mismas, circunstancia que estudios anteriores más teóricos no habían apreciado (Fernández-Pacheco y Moya 2015: 209). Es más, estudiando la visita de 1480, aunque muy parca en detalle, nos informan de que gran parte de los mandatos de obra de 1478 estaban realizados, mientras que otros estaban en curso (A.H.N., OO. MM., Libro 1064-C: Montiel, 1480, p. 186) De cara a poder estudiar estas actuaciones hemos aplicado una metodología que ha combinado el análisis espacial de la visitación, la realización de estudios de estratigrafía muraria, y la propia excavación arqueológica del subsuelo durante los trabajos de investigación y de apoyo a la conservación de la fortaleza.

Como ya hemos mencionado, la descripción de las estructuras de la fortaleza de Montiel nos informa que su estado en 1478 era de cierto abandono, siendo necesarias obras de mantenimiento en distintos puntos, para lo cual se realizaron los correspondientes mandatos. Este tipo de órdenesesuna constante en las diferentes visitas, principalmente porque no se llegaban a acometer los trabajos, repitiéndose a lo largo de las siguientes inspecciones. Estas actuaciones debían ser sufragadas, en principio, por el maestre que era el encargado de pagar los arreglos en murallas y torres, mientras que al comendador correspondía efectuar los arreglos en las estructuras internas (Orozco y Parra 1978: 425). No obstante, la aplicación real de esta división solía ser inusual, siendo los propios visitadores los que marcaban quién debía asumir los diferentes costes (Palacios 2006, 40).

Entrando en el caso que nos ocupa, de cara a poder hacer una tasación de las obras que se debían llevar a cabo, se mandó llamar a dos albañiles de la población, posiblemente ambos de origen mudéjar: Ibrahim el Moro y Martín Marchina. Este hecho no es ni mucho menos excepcional, ya que sabemos que entre esta minoría religiosa existía un personal muy cualificado asentado tanto en la villa y aldeas de- Montiel (Porras 1982, 199-215), como en otras poblaciones de señorío de órdenes militares (Porras 1997, 72-73). Ambos profesionales acompañan a los visitadores y dividen las actuaciones a realizar en «adarves, torrejones, torre e garitas» por un lado, y «la torre del homenaje», por otro. Aunque más adelante entraremos en detalle sobre estas obras, queremos detenernos brevemente en analizar la información que nos aporta este documento sobre la organización del trabajo, los materiales y el acarreo y uso de los mismos (A.H.N., OO.MM., Libro 1063-C. Montiel, 1478, p.229).

Si bien en este caso se manda a Ibrahim el Moro y a Martín Marchina realizar la tasación de los trabajos, podía producirse que no fueran ellos mismos los que llevaran a cabo las obras directamente. Éstas normalmente eran subastadas en un concurso público que se solía hacer en la plaza de la villa, al que podían concurrir los alarifes que estuvieran interesados. Tras conseguir el encargo, eran ellos los que debían

asumir los diversos costes de material y el contrato del personal necesario, aunque en la mayor parte de los casos no se solía requerir para los trabajos en fortalezas de un personal muy cualificado, siendo el propio alarife o a veces un carpintero, el encargo de llevarlas a cabo con la contratación de diversos peones.

Los materiales que se mandan usar en estas reparaciones son en su mayor parte piedra y el ligante para la misma. En este sentido, la unidad de obra para cubicar el material necesario es la *tapia real*, citada con este nombre en el documento. Como se ha estudiado en recientes investigaciones (Graciani 2013, 441) la tapia real equivalía en estos momentos aproximadamente a un módulo de 1,67 m de anchura, por una longitud de 2,78 m y 0,83 m de altura. En este sentido, el montante de materiales para el conjunto de obras que se iban a realizar, «bien mirado e moderado e medido», sin contar el caso de la torre del Homenaje, era de 500 tapias que venían a costar unos 400.000 maravedís, lo que nos da un coste por tapia de 800 maravedíes. Por otro lado, el importe de las obras en la torre del Homenaje, aunque de menor volumen de material, tenía un precio más elevado de tasación, quizás por la complejidad de su ejecución, ya que cada tapia ascendía a 1.200 maravedíes.

El trasiego de los materiales hasta la obra también estaba contemplado, toda vez que las canteras y zonas de producción de donde se tenían que extraer debían de pertenecer a la orden, caso común al de otros monopolios (Porras 1997, 102). En este sentido, se hace mandato expreso por parte de los visitadores para que se puedan usar los caminos que fueran necesarios para el acarreo, aunque también se contempla en el precio que se tuviera que pagar la servidumbre de algunos carriles ya en uso (A.H.N., OO.MM., Libro 1063-C. 1478, p.229).

La reparación de la barrera y las torres

En la visita estudiada este apartado no es muy extenso, al menos si se compara por ejemplo con la visita de 1499 (A.H.N., OO.MM, Libro 1070-C: 1499, pp. 364-368), y no da mucho detalle ni en la descripción ni en los mandatos de obra a realizar, pero sí se enumeran un conjunto de actuaciones de cierto calado. Los principales elementos que se mandan reparar son, en casi todos los casos, el basamento de los lienzos y torres, los adarves y almenados de los mismos, así comoretirar ciertos paramentos en riesgo para volver a reintegrarlos y revestirlos.

Entre estas actuaciones se tenía previsto intervenir en diversos paños del antemuroque hemos identificado, por ejemplo, con los lienzos del costado sur y la zona de la puerta Falsa o portillo de Santiago. No obstante, existen otros elementos y paramentos que citan yque en la actualidad están totalmente perdidos u ocultos bajo el nivel de rasante del terreno, especialmente en las defensas al sur de la torre del Gallo o las ubicadas entre el portillo de Santiago y la torre del Homenaje. También se mandan realizar trabajos en el «cuerpo de la fortalesa», en los borjes-contrafuertes ubicados en el frente norte que se debían volver a almenar, o en la torre Redonda, en la cual había que tirar una garita para hacerla de nuevoy se debía revestirel aparejo.De algunas de estas obras no queda constancia, pero de otras sí que tenemos reflejo desde el punto de vista material, en especial de dos actuaciones sobre las que nos queremos detener: la reparación de parte del frente sur de la barbarcana y la actuación en la llamada torre Gruesa (Figura 4).

En el costado sur de la barbacana, en especial en la Torre 7 y el Lienzo 5 (Figura 5), hemos podido documentar una reforma que creemos que está asociada al mandato siguiente: «Primeramente ase de acabar de haser una pared que esta par de la puerta de Cuero hasta el torrejón que esta cabe la dicha puerta de Cuero y calçarse el dicho torrejón» (A.H.N., OO.MM, Libro 1063-C. 1478, p.226). En este sentido, vemos cómo cambia la fábrica con respecto a la obra original, de cronología andalusí, para realizarse mediante un aparejo de mampuestos de arenisca roja, que en algún punto podría considerarse sillarejo, ordenado por hiladas y trabados por mortero de yeso. En el Lienzo 5 se reconstruye gran parte del mismo, apoyándose o forrando parte de las estructuras islámicas, mientras que en la Torre 7 la intervención es menor, limitándose a calzar nuevamente la estructura y a recomponer algunas áreas que se debían encontrar perdidas (Figura 6).

En el caso de la torre Gruesa (T.2), la intervención se realizó ante el mal estado de la estructura construida en tapial hormigonado. Ésta, en el momento de su fundación en el siglo XII, se apoyaba en el basamento de piedra que había sido trabajado para asentar el primer cajón de la tapia (Figura 7). No obstante, debía estar muy erosionada y perdida, lo que conllevó

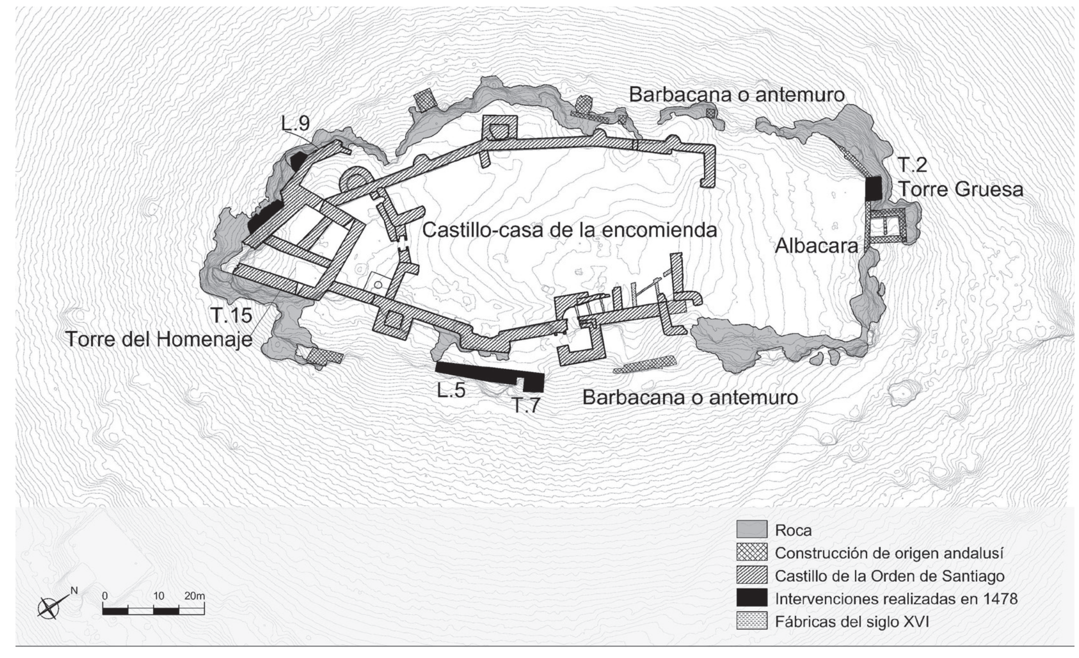


Figura 4.
Planta del castillo de Montiel con la localización de las obras realizadas en 1478

que se mandara reparar: «y luego adelante, par de esta esquina, esta una torre gruesa de tapias de argamasa que se ha menester adobar y calçarse y revocarse y haser almenas» (A.H.N., OO.MM., Libro 1063-C. 1478, p. 227). Parte de esta reparación se puede ver hoy en día. Está formada por un aparejo de sillarejo de arenisca trabado con mortero de cal y yeso que permite calzar la estructura (Figura 8). Además, conserva parte del revestimiento que mandaron hacer, en este caso formado por una terminación de mortero de cal, muy similar alque se aprecia en el frente oriental de la torre del Gallo (T.1).



Figura 5.
Vista general del frente sur del castillo, con la torre de la Iglesia y la barbacana en primer plano



Figura 6
Lienzo 5 y Torre 7, fotomontaje resaltando la zona reconstruida en 1478



Figura 7
Vista de la torre del Gallo y la torre Gruesa, construidas sobre los cantiles de roca



Figura 8
Fotomontaje que resalta el calzo de la torre Gruesa realizado en 1478

La intervención en la torre del Homenaje

La actuación en la principal estructura de la fortaleza (T.15) no tenía previsto intervenir en la propia torre directamente, sino más bien en el asiento la misma sobre la peña, reforzando el antemuro que le servía de cimentación (L.9). Quizás con ello se quería evitar que se produjera un nuevo desplome de la torre como el que había ocurrido hacia 1460, cuando cedió la peña y se derrumbó el ángulo sudoeste arrastrando el cubo que se localizaba en este punto (A.H.N., OO. MM, Libro 1067-C.1494, p. 438). Esta estructura, como aún ocurre hoy en día (Figura 9), debía presentar perdidas por la erosión y la caída de fragmentos del cantil. Ante esto, se manda lo siguiente: «E es menester calçarce y revocar la torre del homenaje acerca



Figura 9
Vista actual del Lienzo 9, sobre el roquedo, que sirve de cimentación a la torre del Homenaje

de los cimientos … de la otra parte de la dicha torre del homenaje debaxo de las ventanas se ha de adobar» (A.H.N., OO.MM, Libro 1063-C.1478, p. 228). Para la realización de esta obra, además, se ordena hacer una grúa con su rueda (cuya descripción daría para un estudio monográfico) que debió llevarse a cabo realmente, ya que hemos detectado la posible impronta de su colocación formada por un retallado de la roca para colocar la estructura, así como por la presencia de dos grandes mechinales en los que debían encajar los rollizos de sujeción del ingenio.

Las obras llevadas a cabo las hemos podido detectar en el registro arqueológico, ya que presentan una fábrica muy similar a las que hemos descrito anteriormente, aunque en este caso, quizás por la importancia de la zona, se sustituye el yeso por mortero de cal, algo que también se refleja en el encargo de la



Figura 10
Detalle del contrafuerte realizado en el Lienzo 9

obra. En el frente norte de la torre se hace un pequeño contrafuerte que se adosa a los cimientos originales (Figura 10), formado por un aparejo de mampuestos de arenisca roja trabados con yeso. Este refuerzo también lo apreciamos en el costado occidental, bajo un pequeño vano, formado por un forro con el mismo sistema constructivo.

Conclusiones

Los libros de visita de las órdenes militares, bien conocidos para el estudio de diversas facetas históricas de estas instituciones, han sido hasta el momento poco usados por los especialistas para el conocimiento de la Historia de la Construcción. Tanto el amplio marco geográfico al que hacen referencia,como el extenso arco cronológico (ss. XV-XVIII) y la diversidad de elementos de construcción que recogen, hacen de este tipo de documentos una fuente de primer nivel sobre el que se debería trabajar de una forma sistemática para avanzar en el conocimiento de esta disciplina.

En este trabajo se recoge el análisis de una de estas visitas, en este caso la de 1478 a la encomienda de Montiel, donde hemos intentado extractar los datos relacionados con el conjunto de obras que se mandan hacer en la fortaleza en esa fecha y que, como hemos podido ver, tienen en parte reflejo desde el punto de vista material, algo que no suele ser usual. En este sentido, la aplicación de una metodología de estudio que combina el examen del texto con las herramientas arqueológicas actuales, nos ha permitido localizar y comprender todo el proceso constructivo: tasación de las obras, planteamientos de ejecución, materiales, acarreos, herramientas, etc. aunque no a todos ellos nos hemos podido referir en el presente trabajo.

La constatación sobre el terreno de estas obras es quizás la aportación más significativa, lo que nos permite por un lado, matizar la interpretación histórica habitual que considera que los libros de visita son fuentes repetitivas y estereotipadas, dudando incluso de que los mandatos y obras programadas tuvieran una plasmación real en los edificios. En muchos casos sabemos que no llegaban a ejecutarse, pero no siempre fue así. Pero por otro lado, desde el punto de vista de la arqueología y de la historia de la construcción, la identificación de dichas obras y reparos permite fechar con bastante exactitud los paramentos intervenidos, sirviendo además de referente para conocer las técnicas, herramientas y materiales usados en cada momento histórico.

Este estudio debe servirnos, como ya está realizando nuestro equipo en diversas zonas a través del proyecto denominado Arqueología de las Órdenes Militares, para seguir avanzando en la investigación del patrimonio histórico de estas instituciones, quizás hoy en día desconocido en muchos casos, y que presenta unas características excepcionales para el conocimiento de las empresas constructivas de fines de la Edad Media e inicios de las Edad Moderna.

Notas

1. Estos trabajos se han desarrollado desde 2012 de forma ininterrumpida con dos tipos de financiación. Por un lado, con los Talleres y Planes de Empleo concedidos por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a la Fundación Castillo de La Estrella de Montiel y al Ayuntamiento de la localidad. Por otro, dentro de los Proyectos de Investigación Arqueológica de la Consejería de Cultura otorgados a la Universidad de Castilla-La Mancha.
2. Esta visita fue publicada por Mª Teresa de La Peña en 1978, pero hemos contrastado su transcripción con la fuente original, dentro de un proyecto más amplio de registro y documentación de todas las visitas a la encomienda de Montiel depositadas en el Archivo Histórico Nacional.

Lista de referencias

Documentos de archivo

A.H.N., OO.MM, Libro 1233*: Visita a los partidos de la Mancha, Ribera del Tajo, Campo de Montiel y Sierra de Segura.* Uclés, 1468.

A.H.N, OO.MM, Libro 1063-C: *Visita a los partidos de la Mancha, Ribera del Tajo, Campo de Montiel y Sierra de Segura*. Uclés, 1478.

A.H.N., OO.MM., Libro 1064-C: *Visita a los partidos de la Mancha, Ribera del Tajo, Campo de Montiel y Sierra de Segura*Uclés, 1480.

A.H.N., OO.MM., Libro 1067-C: *Visita a los partidos de la Mancha, Ribera del Tajo, Campo de Montiel y Sierra de Segura*. Uclés, 1494.

A.H.N., OO.MM., Libro 1070-C: *Visita de los Partidos de la Mancha y Campo de Montiel hecha por Diego de Vera*

Comendador de Calzadilla y Francisco Martínez Almaguer, Vicario de Yeste. Uclés, 1499.

A.H.N., OO.MM., Libro 1236: *Visita de los Partidos de la Mancha, Ribera del Tajo, Campo de Montiel y Segura*. 1500.

Bibliografía

Chaves, Bartolomé. 1740. *Apuntamiento legal sobre el dominio solar, que por expresas reales donaciones pertenece a la Orden de Santiago en todos sus pueblos*. Madrid.

Campos y Fernández de Sevilla, Francisco Javier. 2009. *Los pueblos de Ciudad Real en las relaciones topográficas de Felipe II*. Ciudad Real: Diputación Provincial.

Carrillo de Huete, Pedro. Ed. 2006. *Crónica del halconero de Juan II : Pedro Carrillo de Huete*. Granada: Universidad.

Eiroa Rodríguez, Jorge Alejandro. 2005. La interpretación arqueológica de los Libros de Visita de la Orden de Santiago: el complejo fortificado medieval de Socovos (Albacete). En *II Congreso de Castellología Ibérica Alcalá de la Selva (Teruel), 8-11 noviembre 2001*, 543-562. Teruel: Diputación Provincial de Teruel.

Fernández-Pacheco Sánchez-Gil, Carlos y Moya García, Concepción. 2015. El sistema defensivo del Campo de Montiel, en la segunda mitad del siglo XV. *Revista de Estudios del Campo de Montiel*,4: 183-225.

Gallego Valle, David, y Molero García, Jesús Manuel. 2017. El proceso constructivo de una fortaleza medieval: el castillo de La Estrella de Montiel (Ciudad Real). En *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción Donostia - San Sebastián, 3-7 de octubre de 2017*, editado por S. Huerta, I.J, Crespo y P. Fuentes, 657-668. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

García Carpintero López de Mota, Jaime, y Gallego Valle, David. 2018. La arqueología de órdenes militares en Castilla-La Mancha y la reconstrucción virtual de su patrimonio. *Virtual ArchaeologyReview* 9 (19): 76-88.

Graciani García, Amparo. 2013. Consideraciones iniciales y reflexiones sobre la tapia como unidad de medida para una interpretación constructiva del término. En *Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid, 9 - 12 octubre 2013*, editado por S. Huerta y F. López, 439-446. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Jiménez Rayado, Eduardo; Retuerce Velasco, Manuel y Segura Graiño (coord.). 2009. *Libros de visita de la Orden Militar de Santiago. Provincia de Cuenca : Siglos XV-XVI*. Madrid: Asociación Cultural Almudayna.

Madrid y Medina, Ángela. 1999. Patrimonio artístico del campo de Montiel a través de los libros de visitas de la orden de Santiago. *Anuario jurídico y económico escurialense,* 32: 1047-1058.

Molero García, Jesús Manuel, 2005. Castillos-casas de la encomienda en el Campo de Calatrava. En *Actas del III Congreso de Castellología Ibérica,* coordinado por Amador Ruibal, 657-680, Madrid: Asociación Española de Amigos de los Castillos y Diputación de Guadalajara.

Molero García, Jesús Manuel, 2012. El castillo calatravo de Villarrubia de los Ojos. *Castillos de España*, 167-170: 193-198.

Molero García, Jesús Manuel. 2014. El binomio castillo-casa de la encomienda en la administración señorial de la Orden de Calatrava (siglos XII-XV). En *Castelos das Ordens Militares*, coordinado por I. C. Ferrerira, 229-249. Palmela: Direçao-Geral do Patrimonio Cultural.

Molero García, Jesús Manuel, y Gallego Valle, David. 2018. Arqueología de Las Órdenes Militares: La iglesia parroquial de nuestra Señora de la Estrella en Montiel (Ciudad Real, España) (siglos XII-XV). En *Entre Deus o Rei. O mundo das Ordens Militares,vol. 2*, coordinado por I.C. Ferreira, 975-1002. Palmela, Municipio de Palmela.

Molina Chamizo, Pilar. 2006. *De la fortaleza al templo: arquitectura religiosa de la Orden de Santiago en la provincia de Ciudad Real (siglos XV-XVIII)*. Ciudad Real: Diputación Provincial.

Orozco, Pedro y Parra, Juan. Ed. 1978. *Primera Historia de la Orden de Santiago.* Badajoz.

Ortiz Rico, Isabel María. 1996. Los libros de visitas de órdenes militares como fuentes historiográficas. La Orden de Santiago en Castilla-La Mancha. *En La investigación y las fuentes documentales de los archivos* : (*I y II) Jornadas sobre Investigación en Archivos, Vol. 2*, 1101-1112. Madrid: Confederación de Asociaciones de Archiveros, Bibliotecarios, Museólogos y Documentalistas, ANABAD.

Palacios Ontalva, Santiago. 2000. Los libros de visita de la Orden de Santiago: fuente para una Historia de la arquitectura militar. En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la construcción : Sevilla, 26 a 28 de octubre de 2000*, 2: 751-60. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Palacios Ontalva, Santiago. 2006. *Fortalezas santiaguistas. La orden en la ribera del Tajo (siglos XII-XVI)*. Cuenca

Porras Arboledas, Pedro Andrés. 1982. Moros y cristianos en Montiel a finales del siglo XV. Su número y sus tributos. *Cuadernos de Estudios Manchegos*, 13: 199-215.

Porras Arboledas, Pedro Andrés. 1997. *La Orden de Santiago en el siglo XV. La provincia de Castilla.* Madrid: Dykinson.

Rodríguez Blanco, Daniel. 1985. La organización institucional de la Orden de Santiago en la Edad Media. *Historia. Instituciones. Documentos,* 12: 167-192.

La configuración del muro en el entorno del valle medio del Ebro: iglesias abaciales del monasterio de Irache, monasterio de la Oliva y monasterio de Veruela

Paula Garatea Aznar

Esta comunicación forma parte de la investigación que estoy desarrollando con el fin de saber más acerca de cómo los arquitectos de época tardorrománica se enfrentaba a la concepción y construcción del edificio en una zona geográfica concreta: el entorno del valle medio del Ebro. La falta de datos documentales hace que sepamos muy poco. Desde finales del siglo XIII disponemos de documentación más abundante que ha permitido un mejor conocimiento de muchos aspectos de la construcción medieval, pero no ocurre lo mismo en los siglos precedentes. Esta escasez de fuentes ha obligado a plantear el análisis desde un punto de vista distinto y por ello se emplea una metodología novedosa.[1] En la línea de estudios muy recientes sobre arquitectura medieval, esta investigación ensaya la aplicación a las creaciones arquitectónicas de la metodología denominada *Close Reading*, previamente desarrollada en los estudios literarios, y que, en este caso, se aplica al estudio detallado del edificio.[2] La propia obra construida se convierte en documento y fuente de nuevos datos a través de una mirada realmente cercana.

El análisis que aquí presento ha tenido como objeto de estudio tres construcciones enmarcadas en un mismo ámbito temporal y geográfico, permitiendo así un análisis comparativo. Se han seleccionado edificaciones religiosas construidas en un periodo de gran creatividad en la arquitectura medieval hispana (1150-1220) y ubicadas en un área de unos 80 Km a la redonda del punto de confluencia de tres reinos peninsulares: Navarra, Aragón y Castilla. Son obras que, además, tienen la entidad suficiente como para que fuera imprescindible la existencia de un proyectista y director de obra. Se trata de las iglesias abaciales del Monasterio de Santa María la Real de La Oliva, del Monasterio de Santa María de Veruela y del Monasterio de Santa María de Irache. En concreto, el estudio se ha centrado en la configuración de los muros de estos templos, que son elementos constructivos con una gran importancia en las edificaciones románicas, tanto por su superficie construida como por su fuerza plástica y su papel estructural. Sin embargo, por lo general, y a diferencia de las bóvedas, arcos, pilares y otros elementos aparentemente más ricos en datos, no se suele estudiar de manera detallada, salvo, tal vez, en lo que se refiere a las marcas de cantero.[3] No obstante, la configuración de los muros románicos puede ser muy reveladora acerca de los modos de construcción, ya que son elementos en los que, al no primar la decoración, la construcción queda en principio supeditada a la practicidad y la buena ejecución. Un muro puede parecer homogéneo y continuo, pero analizado con detalle nos aporta numerosos datos acerca, no sólo de la tecnología edificatoria, sino también del proceso constructivo del edificio.

Definido ya el objeto concreto de análisis, paso a explicar la metodología empleada.[4] Se han medido las alturas de los sillares del perímetro interior de las tres iglesias. En todos los casos se ha tomado como altura máxima la que marca la moldura superior de los capiteles inferiores, y como línea base de referen-

cia, la moldura inferior que recorre toda la iglesia en el caso de La Oliva y Veruela, y la línea inferior de la moldura de las basas de las pilastras y pilares en el caso de Irache. Esta línea de referencia se encuentra a una altura respecto al suelo actual de naves y transeptos, según su ubicación, de entre 20 y 50 cm en los casos de Veruela e Irache, y de entre 80 y 90 cm en La Oliva. Los datos obtenidos, una vez analizados, han permitido establecer una serie de hipótesis.

Dimensiones de los sillares

Aun siendo conscientes de que el sistema métrico decimal no fue el patrón de medida empleado por los constructores de ninguna de las tres iglesias, se ha optado por reflejar aquí los datos en centímetros, ya que es la manera en la que fueron tomados para esta investigación y nos dan una idea más clara de las dimensiones. Sin embargo, es necesario dejar claro que son, por tanto, medidas aproximadas, no sólo por la diferencia de unidad métrica, sino también por los parámetros de precisión medieval, tan diferentes a los actuales, así como por inexactitudes derivadas de la toma de medidas. Los datos se obtienen de la fábrica ejecutada, y por tanto las medidas incluyen la parte proporcional de llaga, de dimensiones variables; esto hace muy difícil obtener las medidas de los sillares tal y como fueron cortados. Por todo esto, se han considerado aceptables tolerancias de ±1,5 cm.

En los tres casos, se constata una gran homogeneidad en las medidas empleadas. En La Oliva nos encontramos con el empleo de sillares de seis alturas diferentes para levantar todos los muros de la abacial, salvo las excepciones motivadas por la necesidad de resolver encuentros constructivos puntuales. Las hiladas tienen 20´5, 25´5, 31, 36, 42 y 47 cm de alto. En Irache, pueden observarse dos conjuntos de medidas, que coinciden con las dos fases claramente diferenciadas en la obra: la cabecera, cuyas obras comenzarían hacia la década de 1140, y el resto del templo, fechado entre el último cuarto del s XII y el primer cuarto del s. XIII (Martínez de Aguirre 2004, 133-134; Martínez Álava 2004, 200-201). En la 1ª fase (Irache 1 de aquí en adelante), las medidas son: 15´5, 21´5, 26´5, 32´5 y 36 cm, mientras que en la 2ª fase (Irache 2) encontramos hiladas de 17´5, 21´5, 25´5, 29´5, 35 y 39,5 cm. En el caso de Veruela, el abanico de medidas se amplía considerablemente,

La Oliva				Veruela			
				16	16,68	8"	5%
20,5	21,46	8"	22%	21	20,84	10"	14%
25,5	26,83	10"	13%	25	25	PIE VERUELA (12 pulgadas)	22%
31	32,19	PIE CAROLINGIO (12 pulgadas)	32%	28,5	29,16	14"	18%
36	37,56	14"	10%	33	33,32	16"	18%
42	42,92	16"	22%	36,5	37,48	18"	10%
47	48,29	18"	2%	41	41,64	20"	5%
				44,5	45,80	22"	7%
				49	49,96	24"	1%

Irache 1				Irache 2			
15,5	16,10	6"	1%	17,5	17,45	8"	11%
21,5	21,46	8"	35%	21,5	21,81	10"	19%
26,5	26,83	10"	53%	25,5	26,17	PIE PAMPLONA (12 pulgadas)	12%
32,5	32,19	PIE CAROLINGIO (12 pulgadas)	11%	29,5	30,53	14"	23%
36	37,56	14"	1%	35	34,89	16"	21%
				39,5	39,25	18"	13%

Tabla 1
Medidas de los sillares de cada una de las iglesias, sistema métrico asimilable y porcentaje de utilización de cada uno de los sillares (Elaborado por Paula Garatea)

con sillares de 16, 21, 25, 28´5, 33, 36´5, 41, 44´5 y 49 cm.[5] Analizando y comparando las diferentes dimensiones con patrones de medida empleados en la zona (Merino de Cáceres 1999, 55), y teniendo en cuenta las tolerancias ya mencionadas, podrían relacionarse de manera provisional con el pie carolingio en el caso de La Oliva y de Irache 1, con el pie de Pamplona en Irache 2 y con el propio pie grande de Veruela en el templo homónimo.[6] Así, todas las medidas encontradas tendrían como base la pulgada del sistema métrico correspondiente, manteniendo entre ellas intervalos de 2 pulgadas (Tabla 1).[7]

Como se puede comprobar, los sillares más empleados son los de 12 pulgadas en La Oliva y Veruela, los de 10 pulgadas en Irache 1 y los de 14 pulgadas en Irache 2. Trasladadas las medidas a cm, varían entre 25 y 32 cm, por lo que su utilización frecuente podría deberse a que son dimensiones relativamente manejables.

Las diferentes medidas encontradas no son aleatorias. Conforman en todos los casos una serie numérica cuyo incremento es constante, y esta característica es la que le proporciona una capacidad de combinación muy alta: en cualquier progresión aritmética la suma del primer y último término es igual a la del segundo y el penúltimo, a la del tercero y el antepenúl-

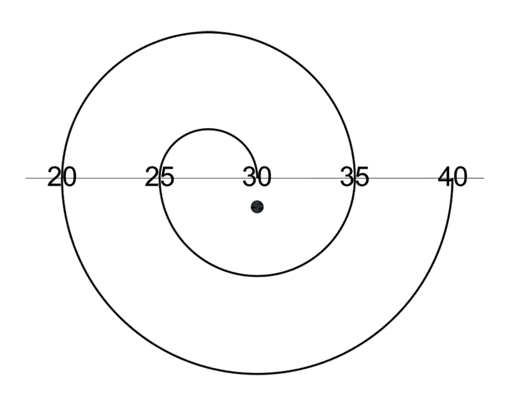


Figura 1
Esquema de combinaciones de una progresión aritmética (Elaborado por Paula Garatea)

timo, y así sucesivamente. O lo que es lo mismo, la suma de dos términos equidistantes de los extremos es constante. Esto, aplicado a los sillares que conforman el muro, permite obtener la misma altura mediante diferentes combinaciones (figura 1).[8]

Identificación de tipos y subtipos

Una vez identificadas las medidas de los sillares para cada edificio, se asigna una letra para cada altura de sillar, siendo A = 8", B = 10", C = 12" (pie), D = 14", etc. Con esta base, se extraen los distintos tipos de muro del edificio, es decir, las diferentes disposiciones de sillares empleadas para alcanzar la altura de la moldura superior ya indicada. Se han dividido en tipos y subtipos, en función de la complejidad de la transición entre unos y otros. Para ello, se analizan los recursos empleados para hacer dichas transiciones y se les atribuye un valor numérico, mayor cuanto más complejo el procedimiento (Tabla 2).[9]

De esta manera, cada transición, en la que por lo general nos encontramos varios de estos recursos simultáneamente, puede relacionarse con una cifra. Aquellas cuyo valor es mayor o igual a 4 se consideran un cambio de tipo, y aquellas cuyo valor es menor que 4, establecen un subtipo. Se han identificado en cada edificio los tipos y subtipos (figura 2) y se ha extraído un valor que permita la comparación que es el número de tipos y de subtipos encontrados por cada 100 ml. (Tabla 3).

Con esta comparativa, podemos apreciar que el esquema de tipos y subtipos es muy similar en Veruela e Irache 2. Sin embargo, en La OIiva e Irache 1 nos encontramos con una mayor continuidad mural y por tanto con un menor número de tipos. No obstante, es llamativo el elevado número de subtipos que encontramos en la cabecera de Irache 1, posiblemente relacionado con las arquerías ciegas y huecos de la capilla mayor.

Posteriormente, estos tipos y subtipos se han trasladado a las plantas de los edificios (figuras 2, 3 y 4). Si tenemos en cuenta que la lógica constructiva supone, para una correcta estabilidad, la verticalidad del muro y la horizontalidad de las hiladas, po-

Combinación primaria	A+D=B+C	1
Inversión	A+B = B+A	1
Combinación primaria cruzada	A+D+C+C =C+C+B+C	2
Combinación primaria inconexa	A+C+D = B+C+C	2
Combinación compuesta	B+C+C+D=E+E+E	3
No coincidencia	------	4

Tabla 2
Recursos de transición entre los tipos de muro, ejemplos y valor numérico atribuido (Elaborado por Paula Garatea)

	Tipos	Subtipos	Tipos / 100 ml.	Subtipos / 100 ml.	Ml.
La Oliva	16	34	4,88	10,38	327,5 m
Veruela	20	36	8,10	14,60	247 m
Irache 1	3	22	4,65	34,16	64,4 m
Irache 2	8	13	8,98	14,60	89 m

Tabla 3
Tipos y subtipos identificados en cada una de las iglesias. Tipos y subtipos por cada 100 ml. Metros lineales del perímetro interior de los templos (Elaborado por Paula Garatea)

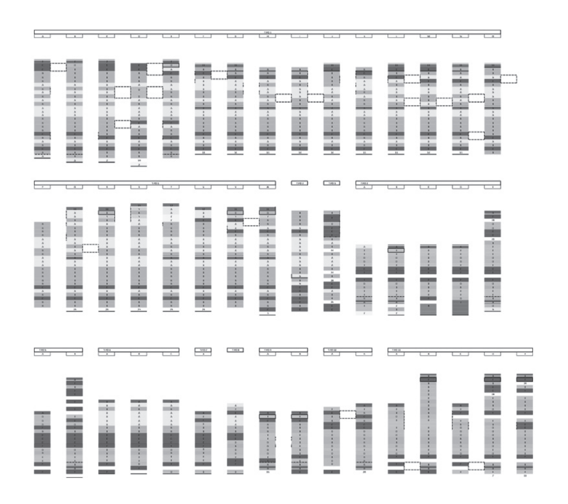


Figura 2
Tipos identificados en Santa María de Irache (Elaborado por Paula Garatea a partir de plano del servicio de Patrimonio Histórico de Gobierno de Navarra)

demos inferir que los paños ejecutados al mismo tiempo y por los mismos operarios mantendrán hiladas continuas. Por tanto, podríamos asignar un tipo de muro a un mismo momento constructivo. Sin embargo, esto no valida necesariamente la lógica inversa, es decir, el cambio de un tipo a otro no siempre implica una ruptura en la continuidad de la obra. Podría deberse, por ejemplo, a un encuentro constructivo difícil que interrumpe la fábrica o al punto de unión entre dos paños de muro levantados al mismo tiempo por cuadrillas diferentes. Los subtipos están generalmente asociados en los ejemplos analizados a elementos singulares: pilastras, esquinas, credencias, etc.

Comparando las tres plantas podemos observar una serie de hechos comunes. En todos los casos, los muros perimetrales de la cabecera y sus capillas son muy homogéneos, conformando incluso un único tipo en el caso de Veruela e Irache. Podríamos hablar, por tanto, de un primer impulso constructivo, controlado y uniforme, que abarca la zona de la cabecera de los tres templos.[10] Otro aspecto reseñable es la continuidad en cuanto a tipos que se produce en el muro opuesto al que conforma el claustro, el meridional en La Oliva, y el septentrional en Irache y Veruela. También es llamativa la falta de coincidencia entre el muro norte y el sur de las tres iglesias. Esto podría tener que ver con el hecho de que el muro anejo al claustro tiene, por su ubicación, una serie de condicionantes añadidos que podrían dificultar su ejecución, cosa que no ocurre en el muro opuesto.

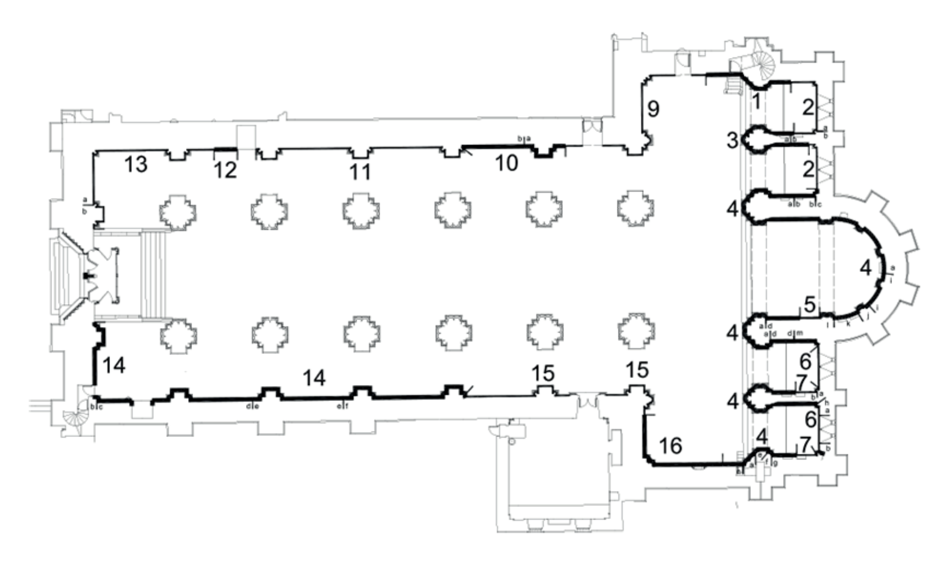


Figura 3
Tipos y subtipos de Santa María de La Oliva (Elaborado por Paula Garatea a partir de plano de la Diputación de Zaragoza)

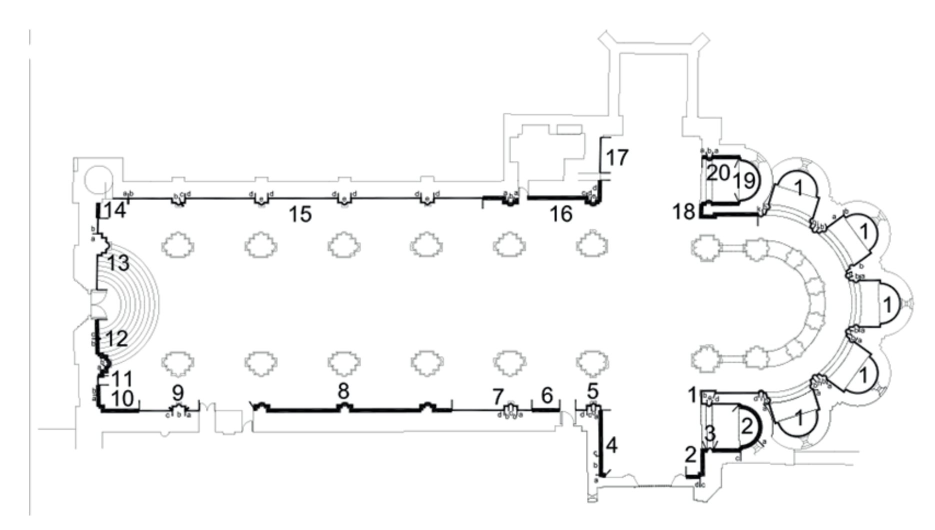


Figura 4
Tipos y subtipos de Santa María de Veruela (Elaborado por Paula Garatea a partir de plano del servicio de Patrimonio Histórico de Gobierno de Navarra)

Por otro lado, si en las plantas reflejamos tan sólo las hiladas inferiores, hasta la altura de la línea de referencia, podemos extraer algunas conclusiones adicionales (figuras 5, 6 y 7). En La Oliva se puede apreciar cómo el basamento se mantiene constante en prácticamente todo el perímetro interior.[11] Esto podría significar que en una primera fase de ejecución se levantó la base de todo el edificio conforme a un proyecto inicial que abarcaba toda la iglesia, y que su planta actual se corresponde con ese primer proyecto. Sin embargo, en Veruela y en Irache no ocurre lo mismo. En Veruela parece haberse levantado el zóca-

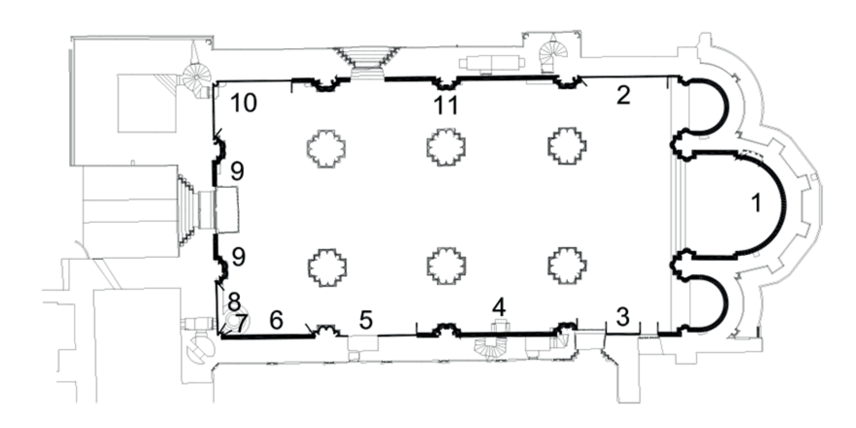


Figura 5
Tipos y subtipos de Santa María de Irache (Elaborado por Paula Garatea a partir de plano del servicio de Patrimonio Histórico de Gobierno de Navarra)

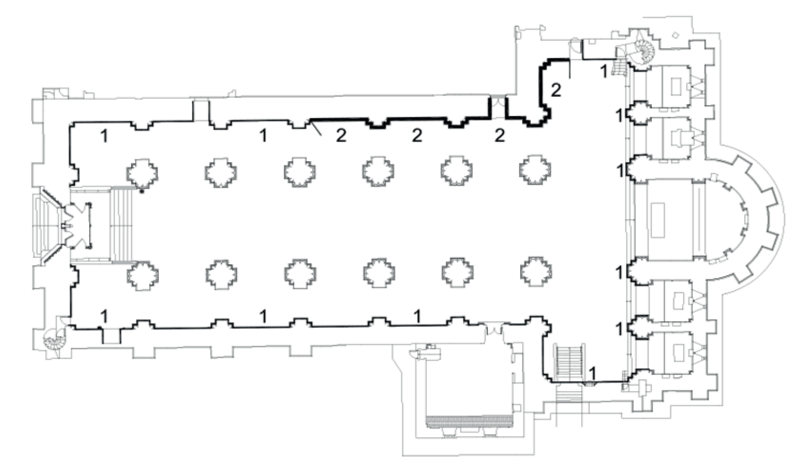


Figura 6
Hiladas inferiores de los muros. Santa María de La Oliva (Elaborado por Paula Garatea a partir de plano de la Diputación de Zaragoza)

lo de la cabecera y el muro sur en un primer momento, y el muro septentrional y occidental posteriormente.[12] En Irache, podríamos diferenciar por un lado la primera fase, Irache 1, que como ya hemos comentado se corresponde con la cabecera, y cuya base mantiene una continuidad, y por otro lado el resto de la iglesia. En Irache 2, al igual que como hemos observado en los otros dos edificios, el basamento se mantiene constante en el muro opuesto al que forma el claustro, en este caso el septentrional, y en el occidental, salvo el ángulo anejo a la torre norte. En el muro meridional, sin embargo, nos encontramos con una gran discontinuidad, que tal vez podría deberse a que se trata del muro del claustro o al posible aprovechamiento de cimientos colocados en la primera fase.

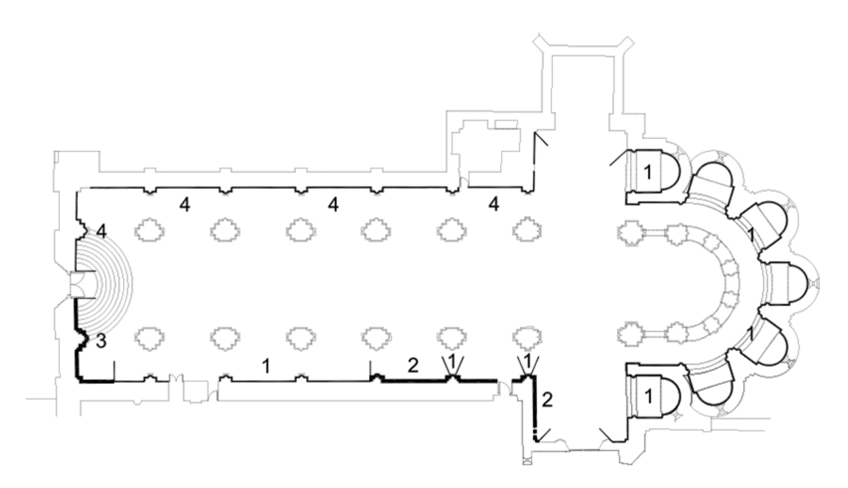


Figura 7
Hiladas inferiores de los muros. Santa María de Veruela (Elaborado por Paula Garatea a partir de plano del servicio de Patrimonio Histórico de Gobierno de Navarra)

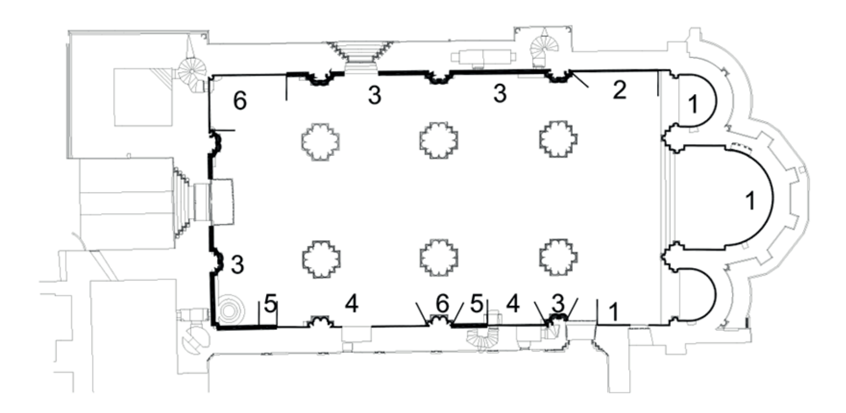


Figura 8
Hiladas inferiores de los muros. Santa María de Irache (Elaborado por Paula Garatea)

Esquemas de combinaciones

Por último, tras analizar las distintas combinaciones primarias de sillares empleadas, se han reflejado en una serie de gráficos (figuras 8, 9 y 10). Cada uno de ellos se asocia a zonas diferentes de los templos, que se corresponden con las fases constructivas habitualmente identificadas.[13]

Estos esquemas nos permiten observar de manera muy clara los distintos tamaños de sillares empleados en cada uno de los edificios y también nos aportan algunos datos acerca de la ejecución. En el caso de La Oliva, podemos hablar de un aumento progresivo del número de tipos de sillar y de combinaciones empleadas, siendo la parte occidental del templo donde mayor complejidad de recursos se observa, al mismo tiempo que unos sillares de mayores dimensiones, con un máximo de 24 pulgadas. Algo similar ocurre en Irache, donde la primera fase, correspondiente con la cabecera y hastiales del transepto, se ejecuta con un número muy limitado de combinaciones y sillares relativamente pequeños, con un tamaño máximo de

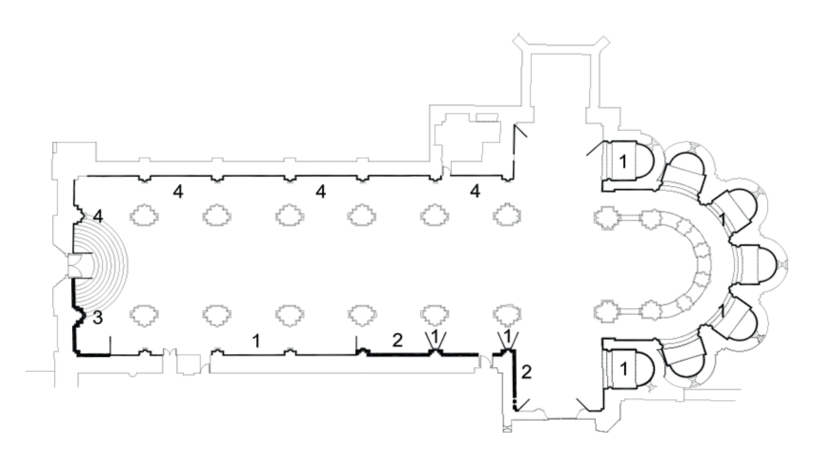


Figura 10
Gráficos de combinaciones de Veruela (Elaborado por Paula Garatea)

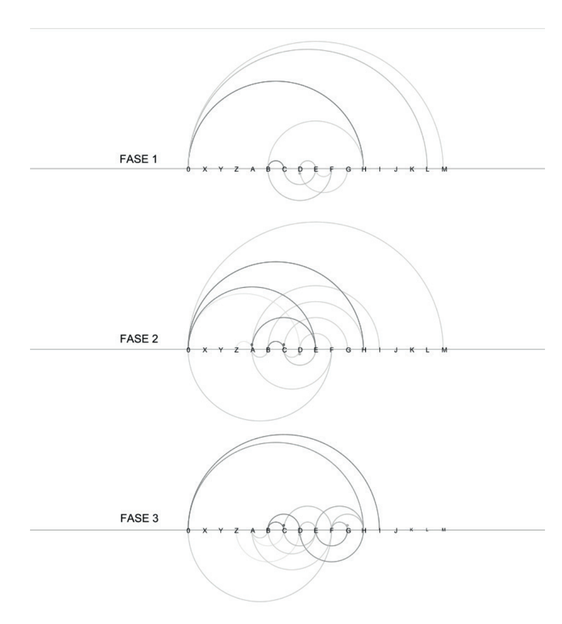


Figura 11
Gráficos de combinaciones de Irache (Elaborado por Paula Garatea)

14 pulgadas. En la Irache 2, se incrementan los dos valores, llegando a haber sillares de hasta 26 pulgadas. Sin embargo, en Veruela la situación es diferente. Así como el número de combinaciones aumenta hacia los pies de la iglesia, el tamaño de los sillares se reduce, pasando de una dimensión máxima de 32 pulgadas en la cabecera a una de 24 pulgadas en las naves. En conjunto, los gráficos muestran una ejecución aparentemente controlada y ordenada en toda la abacial de Irache y las dos primeras fases de La Oliva. Por el contrario, en Veruela el sistema constructivo resulta mucho menos homogéneo y estructurado. La gran variedad de combinaciones y de tipos de sillar, nos hace pensar en un menor control de la obra y una mayor improvisación o bien la ejecución de esas áreas en campañas mucho más cortas y con menor número de constructores.

Estos esquemas podrían perfectamente ser parte de los útiles de medida empleados por los arquitectos y constructores de los tres edificios, y, de hecho, nos pueden recordar a los círculos concéntricos de la piedra de mesura de Veruela. Mediante geometrías básicas, una línea recta y una serie de arcos de circunferencia, se obtiene un sistema que permitiría ir replanteando los sillares para levantar el muro. Una regla de buen hacer, muy lógica y eminentemente práctica, que facilitaría el ir construyendo con unas premisas iniciales (las posibles alturas de sillar múltiplos de 2 pulgadas) pero al mismo tiempo permitiría la variación e improvisación tan habitual en la construcción románica. Además, dentro de esta serie de dimensiones, todos los sillares tallados serían aprovechables combinados de una u otra manera, por lo que se reducirían costes y mermas.[14]

Conclusiones

La aplicación de estos procedimientos supone una mejora logística frente a la construcción improvisada y más artesanal que prepara el material a pie de obra conforme se va necesitando evidenciada en construcciones anteriores al año 1100 y en edificaciones posteriores de menor empeño.[15] En siglos posteriores, se emplearon los llamados planos de juntas, en los que se detallaban las dimensiones de las hiladas de toda la obra.[16] Este método permitía tallar los sillares con anterioridad, ya que se conocía exactamente las características del material que se iba a necesitar, siendo cada vez más común la prefabricación de las piezas. Podríamos considerar el procedimiento aquí explicado como un primer paso hacia la prefabricación. No se trata además de un ejemplo aislado; encontramos este sistema en las tres obras analizadas, que fueron iniciadas, salvo la primera fase de Irache, a partir de 1150. Son iglesias de un tamaño y una complejidad mayores que las habituales en el románico peninsular de los años precedentes, y por ello es mayor la necesidad de organizar de una manera más precisa el trabajo. Por tanto, podríamos decir que se trata de una práctica común ya en el tardorrománico de este territorio entre reinos, y tal vez incluso en el Pleno Románico, teniendo en cuenta que también está presente en la primera fase de Irache.

Notas

1. Esta metodología se desarrolla en la tesis doctoral que estoy realizando en el Programa de Doctorado en Historia del Arte de la Universidad Complutense de Madrid, bajo la dirección del profesor Javier Martínez de

Aguirre, titulada "*Architectus et magister edorum*: proyecto y praxis constructiva en la confluencia de tres reinos: Navarra, Aragón y Castilla (1150-1220)".

2. *Close Reading* es un método de crítica literaria basado en el estudio de breves fragmentos de texto de forma muy cercana y detallada, dando una mayor importancia a lo particular sobre lo general. Se desarrolló a mediados del siglo XX como base metodológica del Formalismo Norteamericano.
3. Son frecuentes los apuntes generales sobre los muros medievales (Aubert 1961, 312; Bango Torviso 1991;Lampérez y Romea 1930, 421-424). Pero los análisis detallados de aspectos concretos como la talla o el tipo de aparejo son más escasos (Kimpel 1995; Vergnolle 1996, Vergnolle 2009).
4. El método empleado y las conclusiones obtenidas en su aplicación al Monasterio de La Oliva ha sido explicado con detalle en Garatea Aznar (2018, en prensa).
5. En los tres casos se han indicado las dimensiones utilizadas en mayor número. Las medidas que aparecen de manera puntual y relacionadas con encuentros constructivos singulares no se incluyen en estas listas por no considerarse significativas.
6. En Garatea Aznar (2018, en prensa) se dan como referencia de las medidas encontradas en La Oliva una serie de cifras a las que ya se había aplicado una tolerancia y posteriormente se las relacionaba con el pie romano. En la presente comunicación se deja constancia directa de las medidas halladas, y se asimilan con otro patrón de medida que actualmente considero más acertado, el pie carolingio.
7. Pedrero Encabo (2017, 63-65) en su estudio de la Colegiata de Toro establece también la pulgada como unidad base de los sillares empleados. También Arias Páramo (2001) hace referencia al uso de una *medida de cantería*(letra cursiva en el original) en las edificaciones de la arquitectura altomedieval asturiana, la cual sería múltiplo de la unidad de medida empleada en la construcción de la iglesia.
8. En este caso, por ejemplo, 20 + 40 = 25 + 35 = 30 + 30. O también 20 + 35 = 25 + 30. En cuanto a las figuras que ilustran este artículo, deseo expresar mi agradecimiento al servicio de Patrimonio Histórico del Gobierno de Navarra y a la Diputación de Zaragoza por las facilidades para utilizar los planos de los monasterios de La Oliva, Irache y Veruela.
9. Los recursos identificados son:
   Combinación primaria: la suma de dos sillares contiguos equivale a la suma de otros dos situados en la misma posición dentro del muro.
   Inversión: Se invierte la posición de dos sillares entre sí.
   Combinación primaria cruzada: la suma de dos sillares contiguos equivale a la suma de otros dos pero no situados en la misma posición dentro del muro.
   Combinación primaria inconexa: la suma de dos sillares no contiguos es igual a la suma de otros dos no contiguos.
   Combinación compuesta: la suma de tres o más sillares equivale a la suma de otros tres o más sillares.
   No coincidente: a partir de un punto, las alturas de las hiladas dejan de coincidir. La altura total difiere.
10. A pesar de que en la cabecera de La Oliva nos encontramos varios tipos, esta variación parece corresponderse más con la solución de encuentros constructivos y con el sistema de organización de cuadrillas que con fases diferentes de la obra. Se ha apuntado ya la hipótesis del comienzo escalonado de las capillas septentrionales y meridionales por operarios distintos, para coincidir en la capilla mayor (Martínez de Aguirre 2008, 368-394).
11. En el perímetro interior se observa discontinuidad en los siguientes segmentos murales: muro norte del transepto, desde la puerta de la sacristía hasta el ángulo noroeste; la totalidad del muro occidental del brazo norte del transepto y el segmento oriental del muro septentrional de las naves correspondiente a los tres primeros tramos. Para un análisis de las hiladas inferiores en el perímetro exterior y en los pilares de La Oliva, ver Garatea Aznar (2018, en prensa).
12. Curiosamente, en el ángulo que forman el muro meridional y el transepto, nos encontramos con una discontinuidad en el zócalo equivalente en extensión y ubicación a la de La Oliva. Aunque en Veruela es en el muro sur y en La Oliva en el norte, en ambos casos se corresponde con el ángulo en el que se emplaza el claustro.
13. En el caso de Irache, se han unificado los esquemas de la cabecera y del transepto debido a que se han asociado a un mismo momento constructivo. En cuanto a la cronología del Monasterio de La Oliva: Martínez Álava 2004, 193-194; Martínez Álava 2007, 140-141; Martínez de Aguirre 2008, 393-394. Acerca de Veruela: Martínez de Aguirre 2010, 775-778; Martínez Buenaga 1998, 175-176.
14. Una reflexión similar hace Pedrero Encabo en relación a la Colegiata de Toro: «Este rango tan amplio de medidas, en todas sus posibles combinaciones, permite aprovechar al máximo el volumen de piedra procedente de cantera, al ser muy sencillo acomodar las piezas extraídas a alguna de las medidas consideradas, manteniendo al tiempo unos patrones que permitan la regularidad requerida para el montaje por hiladas». (Pedrero Encabo 2017, 65)
15. Según indica Marcel Durliat, en el románico «el examen de los sistemas de aparejos, al que se ha dedicado Dieter Kimpel, permite pensar que las piedras eran con frecuencia talladas a pie de obra…La talla y la colocación de las piezas, por tanto, tenían lugar más o menos simultáneamente. Más no era siempre así.» (Durliat 1992, 65)
16. Kimpel llama plan de juntas a un plan o proyecto que define la altura de las juntas horizontales, y en el que

también se determinan las juntas verticales. Según indica Kimpel, el plan de juntas aparece por primera vez en la catedral de Amiens hacia 1235-40 (Kimpel 1995, 200).

Lista de referencias

Arias Páramo, Lorenzo. 2001. Fundamentos geométricos, metrológicos y sistemas de proporción en la arquitectura altomedieval asturiana (siglos VIII y X). *Archivo español de arqueología* 74: 237.

Aubert, Marcel. 1961. La construction au Moyen Âge. *Bulletin Monumental* 119:312.

Bango Torviso, Isidro G. 1991. *El románico en España*. Madrid: Espasa Calpe.

Durliat, Marcel. 1992. *El arte románico*. Los Berrocales del Jarama: Akal.

Garatea Aznar, Paula. 2018, en prensa. ¿Un primer paso hacia la prefabricación? La configuración del muro en una gran abacial cisterciense: Santa María de La Oliva. En *Actas del congreso internacional Monasterio de Piedra, un legado de 800 años. Historia, arte, naturaleza y jardín.* Monasterio de Piedra.

Kimpel, Dieter. 1995. La catedral de Lichfield o: ¿Qué puede saberse sobre una construcción sin disponer apenas de documentos? En *Talleres de Arquitectura en la Edad Media,* editado por Roberto Cassanelli, 195-219.Barcelona: Moleiro.

Lampérez y Romea, Vicente. 1930. *Historia de la arquitectura cristiana española en la Edad Media según el estudio de los elementos y los monumentos*. Madrid: Espasa Calpe.

Martínez Buenaga, Ignacio. 1998. *Arquitectura cisterciense en Aragón (1150-1350).* Zaragoza: Institución Fernando el Católico.

Martínez de Aguirre, Javier. 2004. El segundo tercio del siglo XII. En *El arte románico en Navarra*, dirigido por Clara Fernández-Ladreda, 115-164. Pamplona: Gobierno de Navarra.

Martínez de Aguirre, Javier, coord. 2008. *Enciclopedia del románico en Navarra*. Fundación Santa María la Real, Aguilar de Campoo.

Martínez de Aguirre, Javier, coord. 2010. *Zaragoza: enciclopedia del románico en Aragón*. Fundación Santa María la Real, Aguilar de Campoo.

Martínez Álava, Carlos J.2004. El último tercio del siglo XII y las primeras décadas del XIII. Arquitectura. En *El arte románico en Navarra*, dirigido por Clara Fernández-Ladreda, 165-317. Pamplona: Gobierno de Navarra.

Martínez Álava, Carlos J.2007.*Del románico al gótico en la arquitectura de Navarra. Monasterios, iglesias y palacios.* Pamplona: Gobierno de Navarra.

Merino de Cáceres, José. 1999. Planimetría y metrología en las catedrales españolas. En *Tratado de rehabilitación. Vol. 2*, 33-56. Madrid: Munilla-Lería.

Pedrero Encabo, Claudio Ignacio. 2017. *La construcción de la Colegiata de Toro en los siglos XII y XIII*. Zamora: Instituto de Estudios Zamoranos.

Vergnolle, Éliane. 1996. La pierre de taille dans l'architecture religieuse de la première moitié du siècle. *Bulletin Monumental* 154*:* 229-234.

Vergnolle, Éliane. 2009. De part et d'autre des Pyrénées: remarques sur la taille de la pierre au XIe siècle. En *Hispaniens Nordenim 11. Jahrhundert: Christliche Kunstim Umbruch = El norte hispánico en el siglo XI: un cambio radical en el arte cristiano*, editado por Barbara Wintersstein, 110-117. Petersberg: Michael Imhof.

Bóvedas nervadas del Valle del Lozoya

Alberto Julio García García

El objeto del presente trabajo se centra en las diversas variedades de soluciones geométricas de las bóvedas de crucería en la Comunidad de Madrid, empezando por el análisis del Monasterio de Santa María de el Paular, y su entorno más cercano, el valle alto del Lozoya, cuyas construcciones religiosas pertenecen en su gran mayoría del gótico tardío español. Esta zona permitirá estudiar diversos tipos de bóvedas, tanto en escala como por sus variadas geometrías.

Durante la fase de búsqueda de información previa, se ha detectado la falta de información ordenada de estos elementos en nuestra Comunidad. Encontramos documentos y análisis que desarrollan en profundidad la organización de estas estructuras en otras comunidades y países, pero se encuentran escasas referencias de ellas en Madrid. Algunas de estas reseñas se hallan en volúmenes como «Arquitectura y desarrollo urbano: Comunidad de Madrid, zona norte, tomos III y IV», (Dirección General de Arquitectura 1991, 3 y 4), descritas normalmente de manera imprecisa, muy general, y en la mayoría de los casos, sin documentación gráfica suficiente para hacernos una idea de su tamaño y geometría. Por ello, la visita y toma de datos de las bóvedas forma parte fundamental de la investigación, dado el difícil acceso (o inexistencia) de documentos planimétricos de éstas.

La bóveda de crucería tiene la característica de que su forma se consigue a partir del cruce de sus nervios. Estos arcos funcionan como base para el trazado de unas superficies de doble curvatura que conforman losplementos. A nivel constructivo, admitieron materiales muy variados y procesos constructivos muy diversos, siendo objeto del trabajo identificar las jerarquías de su trazado y realizar hipótesis sobre su construcción, estado actual o materiales.

Los nervios toman un valor estructural, pero no único o fundamental: durantelos bombardeos producidos en la Primera Guerra Mundial, encontramos casos como los de las catedrales de Reims, Noyon o Soissonsenen los que se perdieron los nervios pero mantuvieron los plementos, evitando su ruina definitiva. Toman, por tanto, un carácter referente al proceso de la construcción, estableciendo un orden y unas jerarquías de replanteo en las que algunos nervios definen la volumetría general de la bóveda, mientras que otros tan solo apoyan este orden. La construcción se simplifica, ya que las piezas necesarias para su construcción son mucho menos variadas, más sistematizadas, y cuyos elementos de mayor complejidad son las claves y los jarjamentos,lugar donde se reúnen los nervios tendidos desde distintos puntos.

El proceso de clasificación que se propone se basa en el esquema organizativo desarrollado por Freire-Tellado en su artículo «Las bóvedas pétreas nervadas de Galicia: identificación de soluciones» cuya «premisa inicial es que fuese aplicable a simple vista y permitiese la integración de diversos niveles de información dentro de un esquema de conjunto unitario» (Freire-Tellado 2015, 2).

				BÓVEDAS
Cruceria simple		Sin ligaduras		A
			Conopiales	a
		Con ligaduras	En una driección	B
Crucería con terceletes simples	En dos direcciones	Sin ligaduras	Con combados	C
		Con ligaduras	Con combados	D
			Sin combados	E
Crucería con terceletes dobles	En dos direcciones	Con ligaduras	Con combados	F
Ojivos interrumpidos pero con terceletes		Con ligaduras	Con combados	G
Sin ojivos pero con terceletes		Con ligaduras	En una dirección	H
			En tres direcciones	I
			En dos direcciones	I'

Tabla 1
Clasificación de las bóvedas nervadas del valle del Lozoya

Se busca generar una serie de documentos que permitan comparar todos los elementos estudiados de forma general, y además realizar un análisis individual y en mayor profundidad de los casos más singulares y/o representativos de los abovedamientos del valle del Lozoya.

Clasificación y definición de las bóvedas

A continuación se realizará una clasificación de las bóvedas nervadas documentadas en el Valle del Lozoya (figura 3) a partir de la documentación métrica realizada. Este esquema a escala de las bóvedas sigue un proceso arborescente que termina por definir cada uno de los casos concretos. Tomando como referencia otros estudios sobre estas estructuras, se decidió seguir las directrices comunes en las que se representan en un paralelo los análisis análogos, de forma que se puedan comparar los diversos tipos en relación a sus tamaños a simple vista. Se realiza un documento con las ortofotos de los abovedamientos (figuras 1 y 2), y los esquemas de carácter descriptivo se emplearán para definir el tipo al que se refiere cada análisis geométrico. Las ortofotos de cada tipo de bóveda definida se agrupan bajo el nombre de una letra mayúscula que hace referencia a la tabla donde se describen los distintos tipos existentes en el Valle del Lozoya. Se nombrarán con una letra minúscula aquellas bóvedas que siguen la misma nomenclatura que una familia ya definida pero cuya configuración espacial es distinta. Este es el caso de las bóvedas conopiales, bóvedas de crucería simple, pero cuyos arcos no forman la curva cóncava como es habitual.

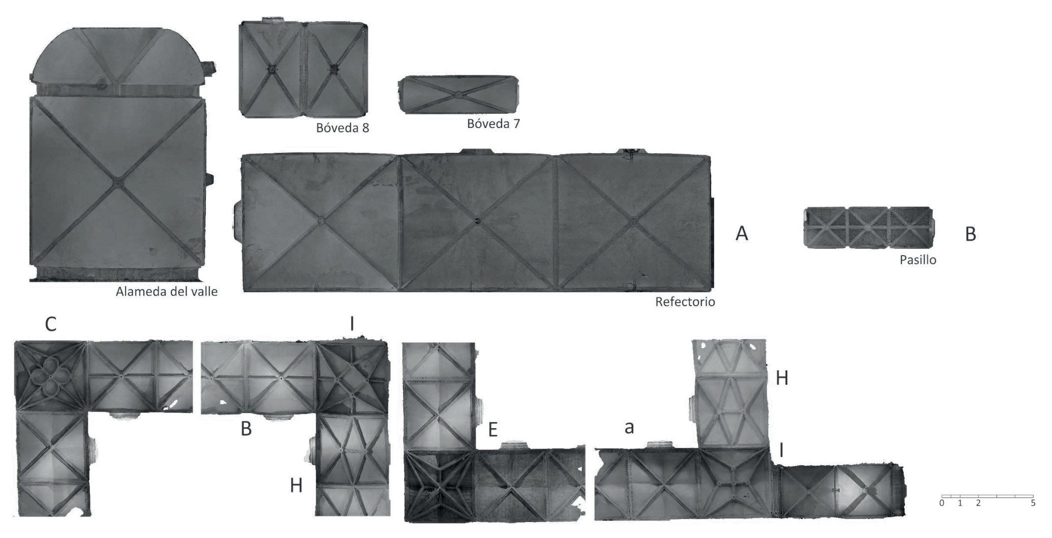


Figura 1
Paralelo de las ortofotos de las bóvedas del valle del Lozoya y del Monasterio de Santa María del Paular (imagen del autor)

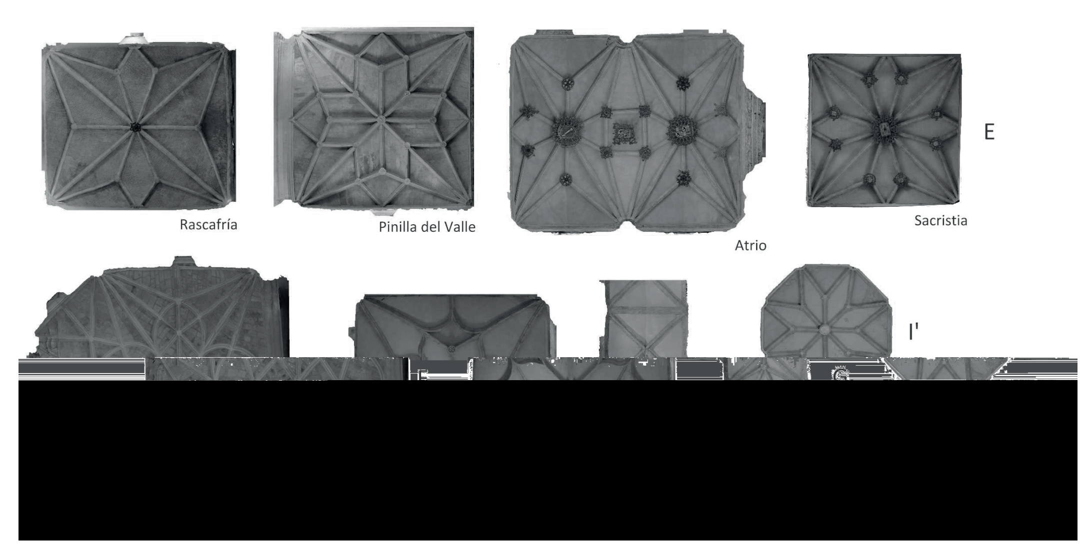


Figura 2
Paralelo de las ortofotos de las bóvedas del valle del Lozoya y del Monasterio de Santa María del Paular (imagen del autor)

Configuración espacial de las bóvedas: estudio geométrico de los nervios

Hasta ahora, el estudio y la clasificación se han realizado a partir de datos observables a simple vista, pero existen otros rasgos menos evidentes y más difícilmente descriptibles a partir de las fotografías, que ejercen una influencia mayor en la configuración espacial de la bóveda. Por ello, el estudio geométrico de los nervios resulta de especial importancia para realizar hipótesis sobre la construcción de las bóvedas. Conocer la escala y la geometría de cada nervio, proporciona un conocimiento sobre la jerarquía de éstos, y permite intuir el orden y proceso constructivo de la estructura.

Como norma general, se puede entender que son los arcos ojivos los que guían el volumen de la bóveda, siendo las embocaduras y los rampantes elementos de orden secundario, que ofrecen complejidad y capacidad estructural a bóvedas de mayor tamaño, pero que van normalmente supeditados a los ojivos. En cambio, encontramos un caso concreto en el que esta regla no se puede aplicar: en la capilla de los Reyes se puede observar la ausencia de arcos ojivos, quedando su configuración espacial relegada a otros nervios. También se ha prestado una especial atención al caso de las bóvedas conopiales del claustro de Juan Guas, dado su valor histórico, su carácter único y su complejidad geométrica.

Los ojivos eran nervios de mayor tamaño y los primeros elementos en ser trazados, generando la geometría básica y por lo que se debía seguían patrones con curvas sencillas como la del arco de circunferencia. Por ello, la comprobación principal que se llevará acabo será la comprobar si los arcos ojivos y terceletes siguen unos patrones similares, cumpliendo el arco de circunferencia, y siendo todos ellos de un tamaño similar.

Este sistema se tomará como válido a la hora de interpretar arcos cuya longitud angular sea grande. En los casos de las circunferencias obtenidas a partir de arcos cuyas aperturas sean inferiores a 60º, la precisión del análisis se reduce mucho, ya que las pequeñas variaciones en la curvatura se trasladan de forma aumentada a longitudes de los radios. Esto generará curvas cuya precisión no podemos tomar en cuenta a la hora de realizar hipótesis sobre el trazado de las bóvedas. Los terceletes serán el arco más pequeño que se analice, siendo las ligaduras los nervios o secciones cuya longitud angular es demasiado reducida, pudiendo provocar suposiciones incorrectas sobre la geometría de la bóveda. También se deberán tener en cuenta posibles irregularidades en la composición de los nervios. Este es el

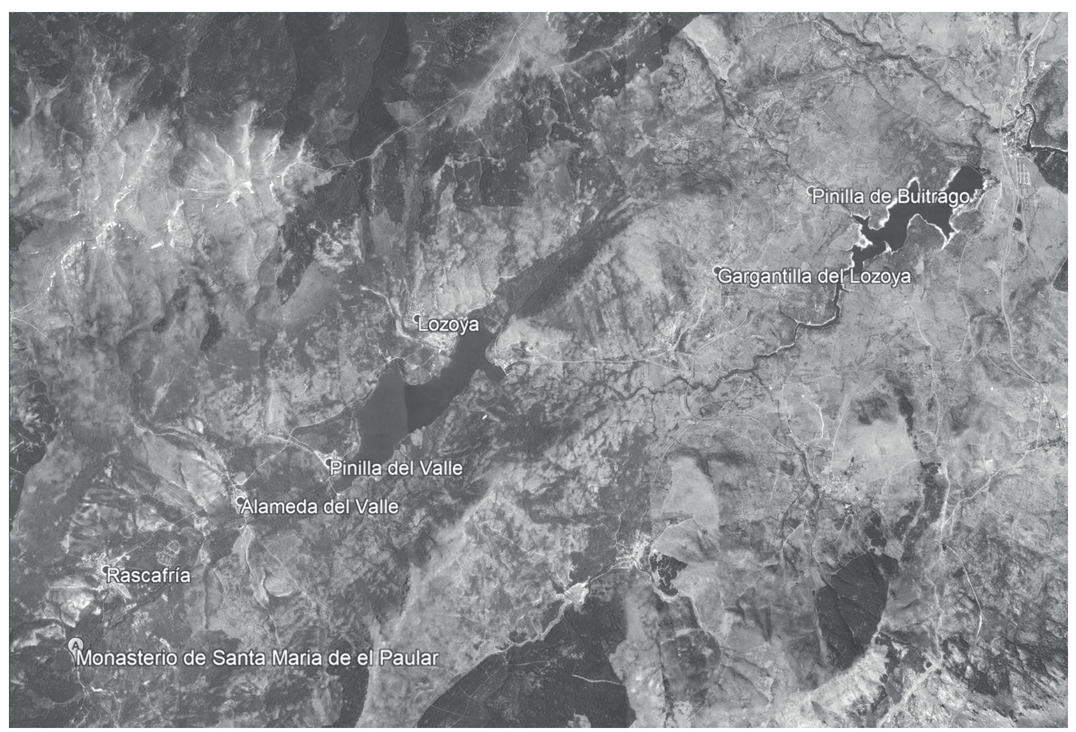


Figura 3
Plano de los núcleos del valle alto del Lozoya donde se han localizado bóvedas nervadas (imagen del autor)

caso de los arcos peraltados, cuyo arranque comienza ligeramente por encima de las ménsulas. Esto debe tenerse en cuenta, pues no se debe dar por hecho que el inicio de la curva será siempre a partir de la altura de cornisa. Tampoco se debe obviar que los arcos de una misma bóveda pueden tener los arranques a alturas diferentes. Estas singularidades pueden causar confusión a la hora de establecer los puntos que se emplearán para el análisis de las curvas. Si no se tienen en cuenta, producirán resultados desacertados en nuestras suposiciones acerca de las bóvedas (Palacios y Martín Talaverano 2012, 381-383).

Rascafría

La iglesia Parroquial de San Andrés el Apóstol fue construida por Juan Gil de Hontañón en 1500. El presbiterio, que posee una bóveda gótica de crucería con terceletes se atribuye a Juan Ruesga, aparejador de Juan Guas, que en aquel momento trabajaba en el Monasterio del Paular. Las naves posteriores se atribuyen a Alonso Cobarrubias, y están datadas de entre 1534 y 1550. Durante los siglos XVII y XVIII sufrió reformas, y en 1952 se llevó a cabo una reconstrucción y rehabilitación de la iglesia a manos de Muguruza.

Esta bóveda, cubre una superficie de 70 m^2 (8,9×7,9 m) y tiene arcos ojivos, terceletes completos en una dirección y terceletes interrumpidos en la otra dirección. Los formeros son ligeramente apuntados. A día de hoy, en los plementos de la bóveda se observa la mampostería de ladrillo que los cierra, pero su pequeño tamaño y su disposición, nos lleva a pensar que se trata de un acabado que imita a este material, cubierto con un revoco por sus posibles defectos en alguna restauración reciente de la que no se han encontrado documentos.

Lozoya

La iglesia de El Salvador fue edificada durante el siglo XVI. Se compone de tres naves separadas por arcos de medio punto y una bóveda gótica. Posee, además, un púlpito plateresco. Debido a los desperfectos causados por la guerra Civil, se reconstruyó en 1941 y 1948 por Manuel Moreno Lacasa y Juan Armando González Cabeza. La bóveda fue derribada durante las reconstrucciones de 1940 para su reconstrucción.

La bóveda de Lozoya es la segunda bóveda más grande del valle, cubriendo una superficie total de 95m^2 (11,2×8,45 m) unida al ábside, continuando los nervios entre ambos elementos. Se trata de una bóveda de crucería con terceletes simples en la dirección larga, terceletes dobles en la dirección corta, ligaduras completas en dos direcciones, ligaduras diagonales y combados. Como se puede apreciar en las secciones de los arcos, el arco formero (1) es de tipo apuntado. Los ojivos (2) forman un arco de circunferencia un poco tendido, encontrándose ligeramente abierto en el tercio superior. Los terceletes de la dirección larga (3) se aproximan sensiblemente al arco de circunferencia, aunque de menor tamaño. La sección central (4), que llega hasta el límite del ábside, muestra una curva muy tendida aunque muy regular en todo su recorrido, sugiriendo que pudo haberse usado en el replanteo inicial de la bóveda.

Alameda del Valle

La Iglesia Parroquial de Santa María Virgen y Mártir, fechada en el siglo XVI y cuyo maestro de obras se cree que pudo ser Juan de la Piedra, incorpora soluciones góticas y renacentistas. En ella, encontramos una bóveda de crucería simple, de arcos formeros de medio punto, unida a un ábside de tres lados con estructura también nervada. Actualmente los plementos se encuentran encalados, por lo que no podemos conocer como fueron construidos.

La bóveda es de crucería simple de 88 m^2 (9,4×9,3 m) unida al ábside semicircular dividido en tres por nervaduras. Como podemos observar en el análisis de los nervios de la figura 2, los arcos ojivos forman una curva muy tendida, lejana al arco de circunferencia. Esta curva comienza muy alta respecto a las ménsulas de apoyo, y la zona central en torno a la clave es muy plana.

Pinilla de Buitrago

En él encontramos la Iglesia Parroquial de la Santísima Trinidad, del siglo XVI. Posee una bóveda de crucería con que cubre la capilla mayor y la capilla lateral. En la fachada norte podemos observar restos de las crucerías de una segunda capilla que fue destruida. Se trata de una bóveda de crucería con terceletes y ligaduras en ambas direcciones, de pequeño tamaño, con los plementos construidos en piedra y unos nervios muy delgados.

Pinilla del Valle

En Pinilla se haya la Iglesia Parroquial de San Miguel Arcángel situada en el borde noroeste del casco urbano. Su construcción se data hacia finales del siglo XV y principios del XVI, aunque sufrió importantes obras y cambios en el siglo XVIII. Al igual que la de Lozoya, es restaurada en los años 40. En la capilla Mayor, se puede apreciar una bóveda de crucería ricamente compuesta, que cubre un espacio de 70,5 m^2 (8,4×8,4 m).

El análisis geométrico de los nervios (figura 4) nos muestra con mucha claridad la curva que se empleó para el levantamiento de esta bóveda, ya que tanto el ojivo (1) como el tercelete (2) siguen el arco de una circunferencia de una medida prácticamente similar. La sección por el centro de la bóveda, siguiendo las ligaduras representadas verticalmente (3) también muestra una curva sin deformaciones, que va desde la clave de los arcos formeros pasando por la clave de la bóveda, y que habla del buen estado de conservación de la bóveda.

El Monasterio de Santa María del Paular

La construcción del monasterio comienza en 1391 como monasterio cartujo del rey Enrique II de Castilla. Su construcción termina en 1440 bajo el reinado de Juan II. En tiempos de los Reyes Católicos, Juan Guas intervino en el monasterio, donde proyectó el atrio, la portada de la iglesia y el claustro del monasterio en sustitución del claustro primitivo. Su construcción continuará a lo largo del siglo XV bajo la dirección de arquitectos como Juan y Rodrigo Hontañón.

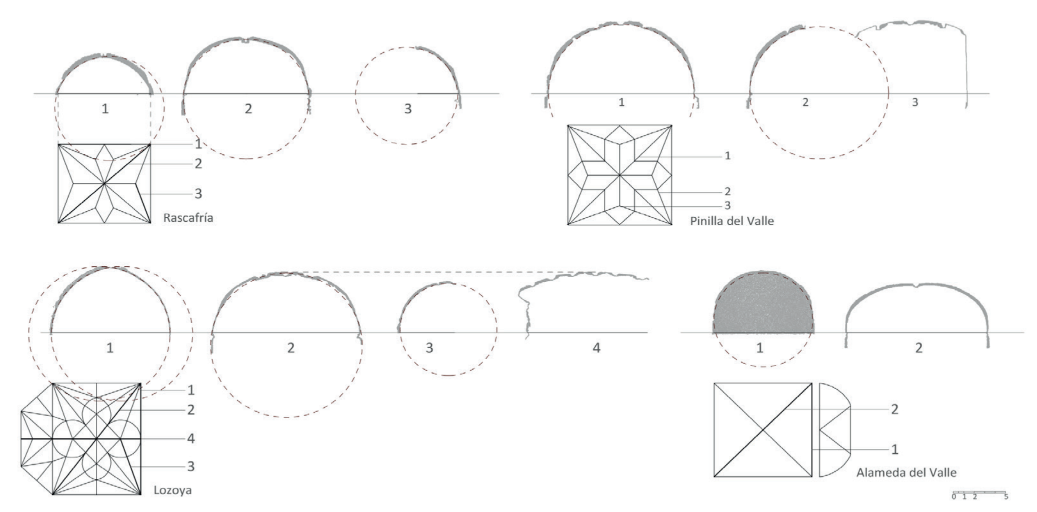


Figura 4
Análisis geométrico de los nervios de las bóvedas de las parroquias de Rascafría, Lozoya, Pinilla del Valle y Alameda del Valle (imagen del autor)

Capilla de los Reyes o de Monserrat

La capilla de los Reyes o de Montserrat se trata de una construcción del siglo XV atribuida a Juan Gil de Hontañón. La construcción constituía una capilla absidial de la iglesia proyectada sobre la antigua ermita de Santa María. Se trata de una de las construcciones más importantes del conjunto de la Cartuja del Paular, hoy en día cerrada al público. El estado de conservación ha decaído debido a la falta acondicionamiento en la construcción.

Se trata de una bóveda muy singular de 87 m^2 (9,25×9,45 m), única en el valle debido a la configuración de sus nervios (figura 5). La ausencia de

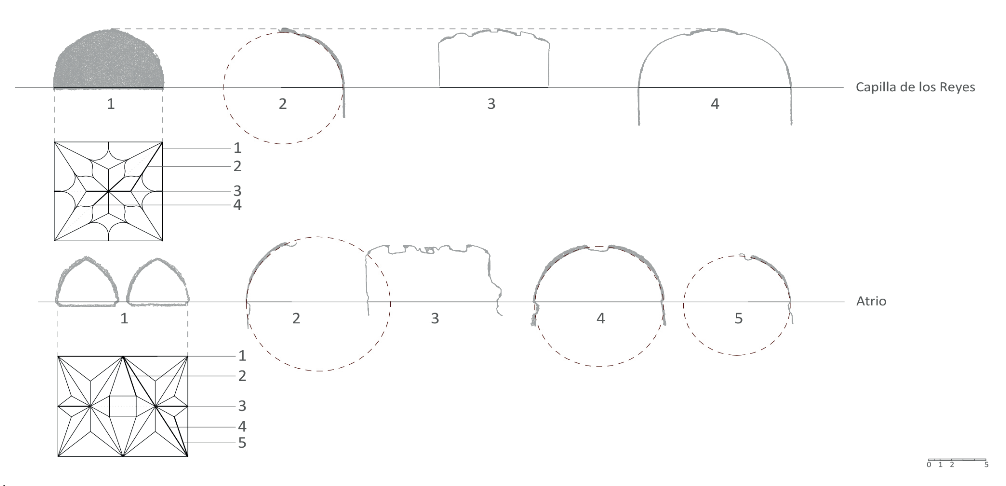


Figura 5
Análisis geométrico de las bóvedas de la Capilla de los Reyes y del Atrio del Monasterio de Santa María del Paular (imagen del autor)

ojivos, y la falta de jerarquía entre el resto de sus nervios, nos habla de una gran planificación y calidad en su construcción. Los arcos ojivos suelen ser los que marcan el volumen de la bóveda, siendo los primeros en ser construidos y adaptándose los de órdenes inferiores a la geometría de estos. En este caso, resulta más complejo entender el orden en que se construyó la bóveda. Los terceletes (2) ganan importancia, pero son complementarios a las ligaduras. Los terceletes en este caso quedan perfectamente apoyados sobre una circunferencia, indicando que podrían tratarse de los elementos con los que se comenzó el trazado de esta bóveda. Las ligaduras (3), que se prolongan virtualmente hasta las puntas de los combados, generan a su vez un arco más tendido. Además, podemos observar que la sección por el que sería el nervio ojivo, que corta a su vez a las ligaduras diagonales (4) no forma el clásico arco de circunferencia, sino que se trata de una bóveda mucho más tendida. También muestra una limpieza y simetría de la que se puede obtener que su estado de conservación es óptimo pues carece de aberturas.

Otro elemento que cobra especial importancia en la construcción son los enjarjes. Los nervios que se unen en las esquinas bajan de manera continua hasta apoyar en el suelo, sin ménsulas ni interrupciones de otro tipo. Estos elementos, además de por sus características compositivas, constituían un solución para los problemas de replanteo vertical. Facilitaban el establecimiento de un plano sobre el cual comenzar a levantar la bóveda. Su ausencia, vuelve a poner de manifiesto la gran calidad de su construcción y su planificación, muy precisa desde su inicio.

Atrio o Capilla Meridional

Esta bóveda cubre el atrio de acceso al monasterio, teniendo comunicación directa con la iglesia de estilo barroco y al claustro principal a través de un pasillo cubierto con bóvedas de crucería. La sala tiene una superficie de 106 m^2 (9,4×11,3 m) dando lugar a la bóveda más grande de todo el monasterio y alrededores. Se trata de una obra de finales del siglo XV, construida probablemente por Juan Guas.

Se trata de una bóveda bastante compleja, ricamente decorada con grandes florones, formada por dos bóvedas simétricas unidas por los terceletes, generando una pequeña estructura intermedia formada por los triángulos entre los terceletes y una pieza cuadrada central, perfectamente horizontal y decorada con un generoso florón en el centro. Las bóvedas principales son de crucería, con terceletes simples en ambas direcciones, aunque en la dirección larga se interrumpen por los combados que los unen con los extremos de la bóveda, y las ligaduras que forman el cuadrado y se atan entre ellas en el centro.

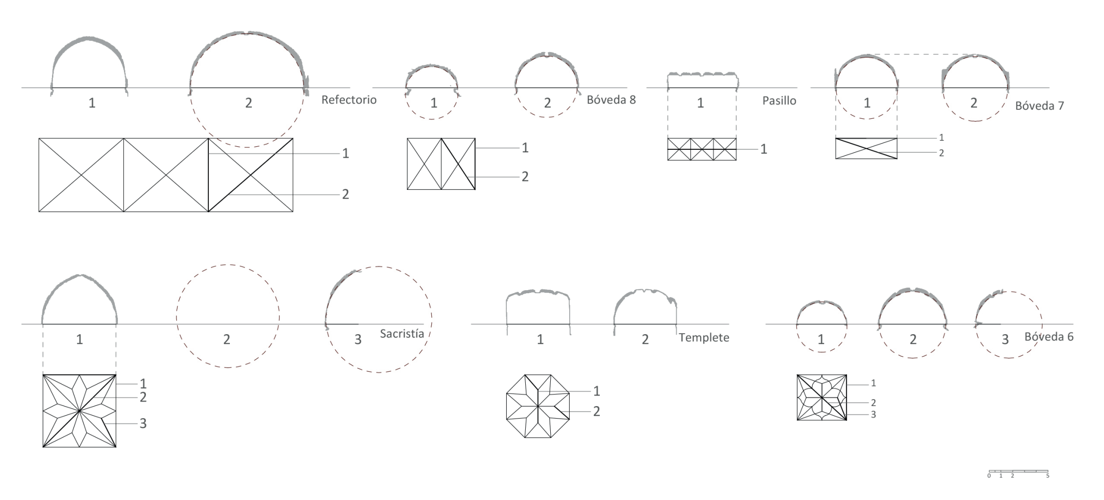


Figura 6
Análisis geométrico de las bóvedas nervadas del Monasterio de Santa María del Paular (imagen del autor)

Pasillo y Claustro

Estas dos bóvedas se han seleccionado para estudiar un elemento concreto y común a ambos. Se trata del nervio señalado en la imagen, que recorre un conjunto de bóvedas iguales, como en el caso del pasillo interno del monasterio y de la panda oeste del claustro.

En las secciones longitudinales, podemos observar que forman una larga horizontal que recorre todos los elementos de forma uniforme. Este nervio es de de carácter compositivo ya que no cumple función estructural, empleado para dar unidad visual al espacio que cubre, dirigiendo la vista en la dirección larga de las salas.

Claustro del Monasterio del Paular

El claustro se comienza a construir con Juan Guas, por encargo de los Reyes Católicos, entre los años 1484 y 1486, aunque se sabe que tuvo que abandonar su construcción por mandato de Isabel la Católica para comenzar las obras de San Juan de los Reyes en Toledo. El final de las obras se data hacia finales del siglo XV y comienzos del XVI, a cargo de Juan Ribero, discípulo de Rodrigo Gil de Hontañón hacia 1580.

Se cree que el claustro fue comenzado por las pandas este y sur, donde se sitúan una serie de bóvedas conopiales, que «se trata de un caso único en Europa y en España» (Fernández Cadenas 2013,2) sobre estas bóvedas. Podemos suponer que son obra de Juan Guas, mientras que las pandas norte y oeste son posteriores, de carácter más clásico, siguiendo el gusto de sus autores.

El claustro está compuesto por 12 módulos en cada panda más los módulos de las cuatro esquinas, que son singulares. Cada panda mantiene la misma tracería, mientras que al llegar a la bóveda de la esquina, se adoptan diferentes soluciones para, entre otros motivos, resolver los encuentros geométricos entre las bóvedas de cada panda. Especialmente interesantes resultan las geometrías de las dos esquinas opuestas que unen las pandas sur y este (bóvedas conopiales) con las pandas norte y oeste (bóvedas ojivales). Cada módulo mide unos 3,80 m.

Bóvedas conopiales

Las bóvedas de las pandas sur y este, probablemente construidas bajo la dirección de Juan Guas, se tratan de unas bóvedas muy singulares, formadas a partir de los arcos ojivos con curvaturas cóncava y convexa y en los que las superficies de los plementos también siguen esta geometría cóncavo-convexa (figura 7).

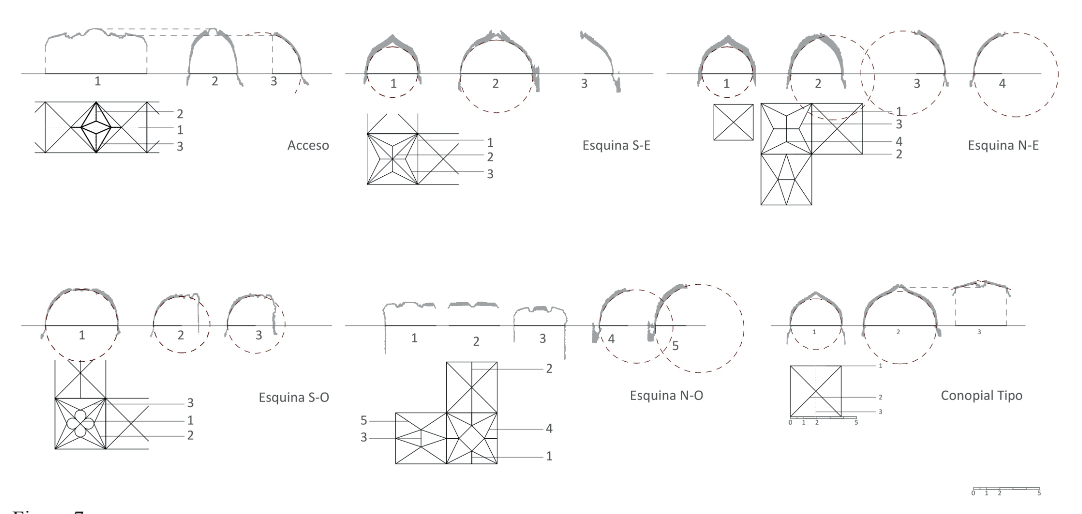


Figura 7
Análisis geométrico de las bóvedas nervadas conopiales más significativas del claustro del Monasterio de Santa María del Paular (imagen del autor)

Estas bóvedas componen 22 elementos de dos pandas, siendo diferentes las de las esquinas y las del acceso al claustro.

Podemos observar que los arcos formeros (1 y 2) inscriben una circunferencia entre los arcos cóncavos, y que luego se eleva el arco convexo, situándose su intersección en la horizontal con los arranques y con la clave.

El arco ojivo (3) también inscribe una circunferencia en su parte cóncava, aunque de mayor tamaño que la forman los arcos formeros. De esta forma, se propone una hipótesis apoyada en el levantamiento realizado *in situ* en relación con la planteada en «Las bóvedas conopiales del Monasterio del Paular» (Cadenas 2013, 5) en el que plantea la hipótesis de que «las diagonales, también arcos conopiales, tienen la misma geometría de los arcos formeros, en su parte inferior». En el caso de la bóveda analizada, se puede observar que este arco puede estar ligeramente abierto. También se puede observar que la longitud de la zona convexa es muy similar en ojivos y formeros, probablemente por una razón constructiva y de replanteo para el encuentro de piezas en la clave, que se analizará más adelante.

Como podemos observar en la sección por el centro la bóveda (4), la intersección de los formeros y la clave central de la bóveda quedan unidos por una línea recta, ligeramente inclinada, para que los plementos alcancen la altura máxima del arco ojivo. Los plementos por tanto poseen una doble curvatura que se suaviza hasta convertirse en recta en este punto, volviendo a curvarse hasta llegar al arranque opuesto.

El nivel constructivo, documentado en profundidad en su restauración en 2007 por el arquitecto Eduardo Barceló, se puede observar que solo hay tres bóvedas cerradas con piedra, mientras que el resto están construidas en ladrillo y posteriormente revocadas. El ladrillo, por su menor tamaño, permite adaptar de manera más precisa los plementos a las geometrías previamente descritas por los nervios.

La solución constructiva para el remate de estas bóvedas sin clave, fue la ejecución de una pieza en forma de cruz que encajase con los nervios ojivos. Se trata de una pieza muy singular y única para este tipo de bóvedas.

Esquina entre las pandas conopiales

La bóveda conopial de la esquina entre las pandas de conopiales consta de ojivos, terceletes y ligaduras en las dos direcciones. En ella se analiza el formero en contacto con una de las bóvedas (1), el crucero (2) y el tercelete (3), que es también conopial. Podemos observar que el arco de circunferencia que forman las zonas cóncavas de (2) y (3) es exactamente el mismo. Las ligaduras tienen un espesor mucho menor que el resto de nervios, pero aún así, en una bóveda de este tamaño y con tal cantidad de nervios, los plementos quedan reducidos a su mínima expresión. Esta es la única esquina del claustro construida con una plementería de piedra, siendo un total de 3 bóvedas en la panda este a partir de esta.

Acceso al claustro

El acceso principal al claustro se realiza hacia la mitad de la panda sur, enmarcado por un módulo doble cubierto por «una bóveda formada a partir de dos cuartos de las bóvedas conopiales adyacentes, con un lado del cuadrado igual a medio ojivo del módulo tipo, de 2,69 m» (Fernández Cadenas 2013, 7).

Además, el hueco de acceso se sitúa bajo el enjarje de esta curiosa bóveda doble (o triple), de tal forma que el ornamentado dintel se lleva la parte de las cargas correspondientes a este enjarje.

El Paular: microarquitecturas

En el muro occidental del atrio de acceso, y cubierta por la gran bóveda doble de crucería y terceletes, se encuentra la portada de acceso a la iglesia, levantada bajo el mandato de los Reyes Católicos por el arquitecto Juan Guas. Está formada por tres archivoltas ojivales rematadas en el exterior por un arco conopial. Las archivoltas están decoradas con motivos vegetales y hornacinas con diversas estatuillas (figura 8). Como se puede apreciar en los detalles, todas estas hornacinas presentan un remate de cubierta en el que se representan bóvedas nervadas en miniatura.

Se trata de representaciones imaginativas, con un sorprendente grado de detalle y que en algunos casos se asemejan a algunas de las bóvedas nervadas cons-



Figura 8
Fotografía de un detalle de las hornacinas de la portada de la iglesia en la que se observa la representación de una bóveda nervada (imagen del autor)

truidas en el propio monasterio. Estas microarquitecturas, término desarrollado en «Micro-Architecture as the idea of Gothic Theory and Style» (Bücher1976), son un elemento clásico del periodo gótico. En el caso de esta portada, que posee un total de 24 hornacinas, se ha observado que, en mejor o peor grado de conservación, todas ellas poseen la representación de una bóveda de crucería. En algunos casos están incluso rematadas con claves y nervaduras que representarían el esquema de un ábside nervado, dando soluciones bastante precisas los remates de estas hornacinas.

Conclusiones

Tras finalizar el estudio se han realizado una serie de levantamientos de bóvedas góticas nervadas en la zona norte de la Comunidad de Madrid. El uso los métodos de representación a partir de la toma de datos *in situ* ha permitido llegar a comprender distintos aspectos de las estructuras analizadas. Durante este proceso se han podido realizar hipótesis sobre la geometría, construcción, composición y autoría de cada una de estas bóvedas. Asimismo, se ha elaborado una documentación gráfica precisa sin contar con la preexistencia de una documentación previa rigurosa u ordenada. El material producido se ha contrastado con los documentos existentes y se ha procedido a su comparación, validación o rechazo según el caso.

También se han constatado y refutado ciertas hipótesis sobre las bóvedas nervadas en general, y de alguno de los casos que nos conciernen en particular. El uso de la escala ha permitido comprobar que las soluciones de las bóvedas son particulares según sus tamaños. Se ha podido realizar una incipiente hipótesis sobre el estado de conservación de alguna de ellas, y se ha producido información fiable sobre la geometría de los nervios de cada una de estas bóvedas.

Lista de referencias

Barceló de Torres, Eduardo. 1994.Monasterio de Santa María de El Paular, Rascafría (Madrid).(Fragmento de la Memoria del proyecto de restauración). *Revista de arquitectura*, 297:71-77.

Bücher, François. 1976. Micro-Architecture as the idea of Gothic Theory and Style. *Gesta,* 15(1/2): 71-89.

Dirección General de Arquitectura (3 y 4). 1991. *Arquitectura y desarrollo urbano: Comunidad de Madrid, zona norte*. Conserjería de Política Territorial, Dirección General de Arquitectura, COAM y Fundación Caja Madrid.

Fernández Cadenas, Mario. 2013. Las bóvedas conopiales del monasterio de Santa María de El Paular. En *Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por S. Huerta y F. López Ulloa, 285-292. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Freire-Tellado, M. J. 2011. Flores en los techos de Galicia. La tracería de las bóvedas nervadas. En *Actas del S*éptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, editado por S. Huerta, I. J. Gil Crespo, S. García y M. Taín, 421-430. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Freire-Tellado, y Tarrío-Carrodeguas. 2015. Las bóvedas pétreas nervadas de Galicia: identificación de soluciones. *Informes de la Construcción*, 67 (538).

Luis Rivas, Isabel. 2013. *Toma de datos fotogramétricos, reconstrucción virtual, realidad aumentada y difusión en la red de la iglesia nuestra señora de la Asunción.* Proyecto fin de Máster en geotecnologías cartográficas en ingeniería y arquitectura, Universidad de Salamanca. Valladolid.

Maira Vidal, Rocío. 2011. Bóvedas sexpartitas: traza, estereotomía y construcción. Monasterio de Santa María de Huerta. En *Actas del S*éptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, editado por S. Huerta, I. J. Gil Crespo, S. García y M. Taín, 821-832. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Mas-Guindal Lafarga, Antonio-José. 2000. *La cartuja y el monasterio benedictino en Santa María del Paular*. Asociación de amigos del Monasterio de Santa María del Paular.

Palacios Gonzalo, José Carlos. 2005. Las bóvedas de crucería rebajadas: criterios de diseño y construcción. En *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por S. Huerta, 821-830. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Palacios Gonzalo, José Carlos y Rafael Martín Talaverano. 2012. Complejidad y estandarización en las bóvedas tardogóticas. *Anales de la Historia del Arte*, 22, Núm. Especial (375-387).

Rabasa Díaz, Enrique. 1996. Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI. En *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por A. de las Casas, S. Huerta y E. Rabasa, 423-433. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Rabasa, E.; Calvo, J. y R. Martín. 2017. Bóvedas de crucería que se proyectan en planta según una matriz de estrellas. Transmisión de conocimiento técnico en el tardogótico europeo. En *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción, vol. 3*, editado por S. Huerta, P. Fuentes e I. J. Gil Crespo, 1335-1344. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Zaragozá Catalán, Arturo. 2009. A propósito de las bóvedas de crucería y otras bóvedas medievales. *Anales de Historia del Arte*, Volumen Extraordinario: 99-126.

http://autodidactaengeomatica.blogspot.com/2016/04/levantamientos-fotogrametricos-para-la.html
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4223/4873
http://monasteriopaular.com/index.html
https://www.monasteriodeelpaular.com

Cascarones de coronación. Láminas vaídas de hormigón en la década de los 60 en España

Rafael García García

En este trabajo se muestranlos tres casos más relevantes encontrados de cúpulas esféricaslaminares de hormigóncon apoyos puntuales realizados en España en los años 60, periodo de máximo esplendor en nuestro país para este tipo de estructuras. Estas suponen una variante delas láminas también delgadas de casquete esférico, pero sustentadas en una base continua, las cuales no se considerarán aquí.[1]Las láminas españolas aquí contempladas se concibieron como superficies esféricas cortadas por planos en el contorno, dando lugar a formas sobre bases que característicamente son el octógono y el cuadrado/rectángulo. En el segundo caso la forma constituida es la bóveda vaída más simple o básica.

Aunque las realizadas en este periodo en España no llegaron a ser ejemplos récord de ámbito mundial por sus dimensiones, son sin embargo de suficiente interés por sus condiciones particulares y por tratarse de soluciones únicas dentro de un panorama bien reducido de realizaciones. La condición de apoyos puntuales conllevó importantes cambios de comportamiento estructural respecto a las cúpulas de apoyo continuo, o casquetes esféricos convencionales, mucho más sencillas de cálculo y análisis.[2]En consecuencia, para absorber las nuevas tensiones generadas,cada una llegó a ser una muestra particular de la forma resolver las implicaciones constructivas que esta configuración implicó.

Los tres casos que analizar son el nuevo mercado de la Cebada de Madrid, las bodegas Tío Pepe de Jerez de la Frontera y la cúpula del Ferial de Muestras de Barcelona, únicos ejemplos importantes encontrados en España de esta característica disposición geométrica. Aun siendo destacables, debe mencionarse que fueron construidos contando con una serie de antecedentes, que han de considerarse además elementos referenciales y de comparación. Por ello comenzaremos el artículo con algunas indicaciones al respecto. Aunque teóricamente las formas posibles derivadas de superficies de esfera con apoyos puntuales pueden ser de gran variedad (Engel 2001, 250-54), los ejemplos efectivamente llevados a la práctica mostraron reducirse a las configuraciones más simples.[3]Incidiremos especialmente en estos prolegómenos en los ejemplos emparentados más directamente con los tres casos analizados.

Antecedentes

Dissinger(1935, 397-8) publicó por primera vez la solución matemática de una bóveda vaída de este tipo con planta cuadrada y construyó un modelo a escala de hormigón de solo 1,5 cm de espesor sobre una planta de 50 m2 (7,12 x 7,12 m). Con radio de 8,424 m conllevaba una relación flecha-luz en su sección media sensiblemente rebajada, algo menor de 1/8 (figura 1).Dicha bóvedaexperimental se realizó sobre apoyos continuos en el perímetro en forma de vigas arqueadas de gran rigidez, es decir no permitiendo los bordes libres en arco que resultarían en el caso de apoyo únicamente en las esquinas.Dada la

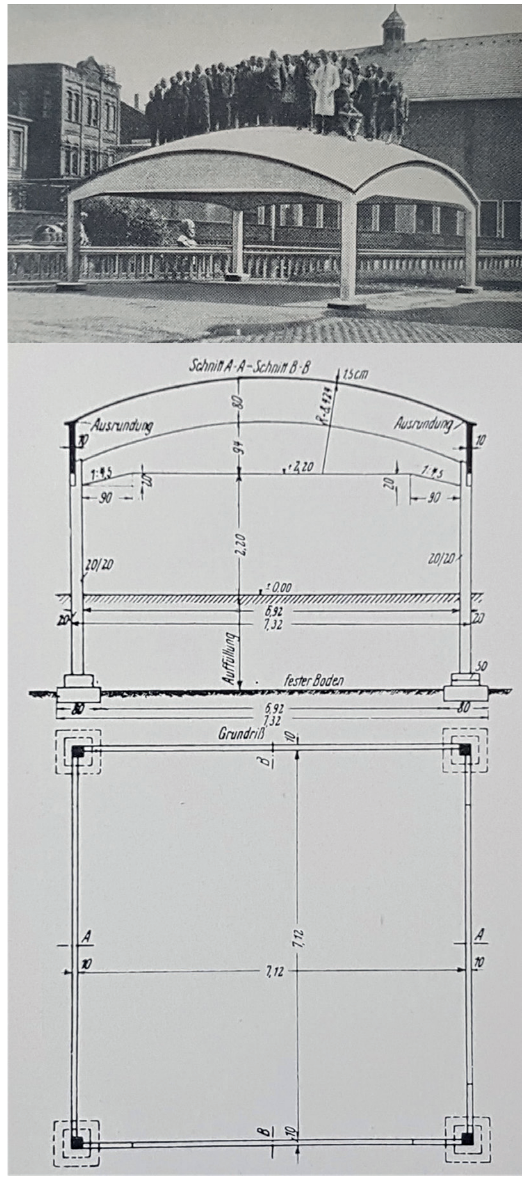


Figura 1
Bóveda vaída experimental. Dissinger 1935 (Huberti 1964, 156)

imposibilidad de que estos bordes queden libres al no poder equilibrar sus tensiones, éstos serán también rigidizados con diferentes sistemas de refuerzo en todas las soluciones construidas posteriormente.

Con este referenteteórico se hace especialmente notable por su adelanto y por su salto dimensional el caso del mercado de Algeciras de Eduardo Torroja, ya construido en 1933 conforma de cúpula esférica rebajada de espesor mínimo de 9 cm, pero ahora de planta octogonal sobre una circunferencia de 47,80 m (Torroja 1962). Con un radio de 44,10 m, la relación flecha-luz medida en la diagonal del extradós es aproximadamente 1/6,8. Nuevamente se puede apreciar que los bordes libres requirieron tratamiento especial, en este caso mediante su rigidización con paños de láminas cilíndricas horizontales cortados a modo de viseras sobre cada uno de sus ocho lados (figura 2). La estructura, bien conocida y publicada, se contrarrestó con tirantes horizontales tendidos entre los ocho soportes. Además, bajo las bóvedas de borde y en correspondencia con los lados del octógono se construyeron radios para asegurar laindeformabilidad de sus directrices. Se constataba así una vez más la importancia de que los bordes curvos de estas soluciones aseguren su forma, bien con apoyo continuo o en un número suficiente de puntos. Para planta octogonal, el mercado de Algecirasfue desde entonces un ejemplo emblemático de referencia.

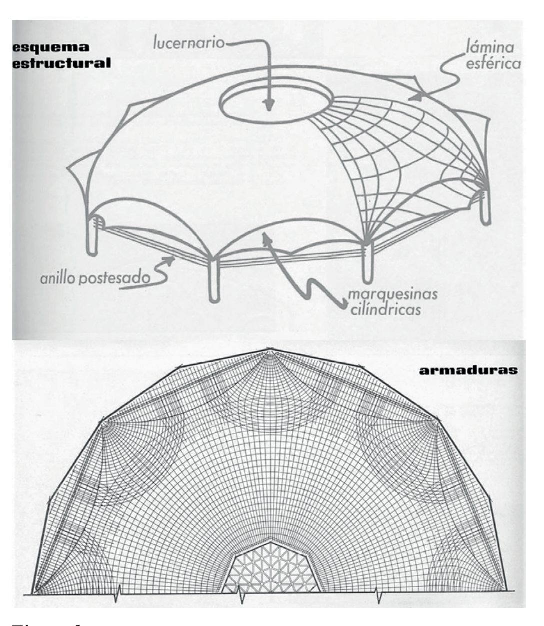


Figura 2
Mercado de Algeciras, esquema estructural y armaduras (Torroja 1962)

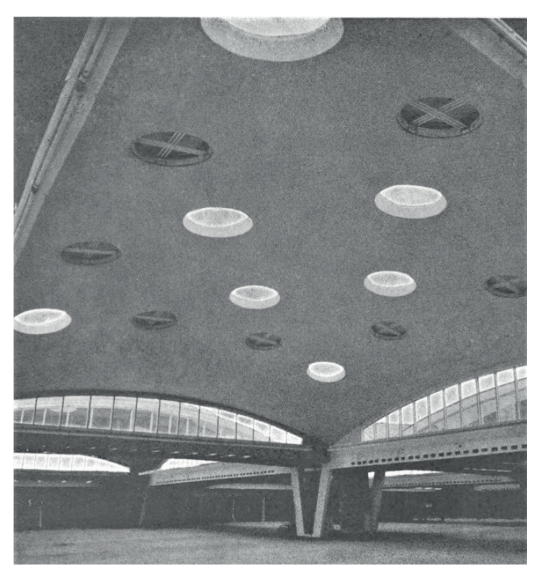


Figura 3
Fábrica en Brynmawr. 1951 (CooperativePartnership 1952, 64)

Tras la Segunda Guerra Mundial, el primer ejemplo destacable son las 9 bóvedas vaídas, en este caso de traslación, de la fábrica de caucho Brynmawr en Gales del Sur, proyectada hacia 1947 por Co-operativeArchitects(1947; 1952) condiseño estructural de Ove Arup. Terminadas en 1950, cada bóveda, de planta ligeramente rectangular, tenía 24 x 19 m con espesor algo menor de 9 cm.[4]Eran notablemente rebajadas, con relación flecha-luz aproximada 1/9,6. Dos rasgos distintivos fueron,por una parte, los 16 lucernarios redondos de 6 pies de diámetro (1,83 m) que perforaban cada una de las bóvedas y por otra, sus apoyos en soportes inclinados en V en la dirección del lado largo (figura 3). Las bóvedas estaban separadas entre sí dejando bandas de cubierta plana entre ellas, lo que permitía la formación de amplios lucernarios en arco en sus cuatro lados. Dichos lucernarios eran,por otra parte, los tímpanos de la estructura de rigidización de los bordes libres, compuesta por un arco de refuerzo y una viga tirante horizontal (Arup y Jenkins 1953). Sobre el funcionamiento del arco, el casquete esférico carga no obstante con una cierta oblicuidad deformándolo y torsionándolo y, por tanto, no solo actuando verticalmente (Páez 1964, 78).Viga y arco estaban unidos por series de finos montantes metálicos (15 y 19 en cada lado) para fijación de la carpintería y también colaborando en la indeformabilidad del conjunto. El arco de borde fi-

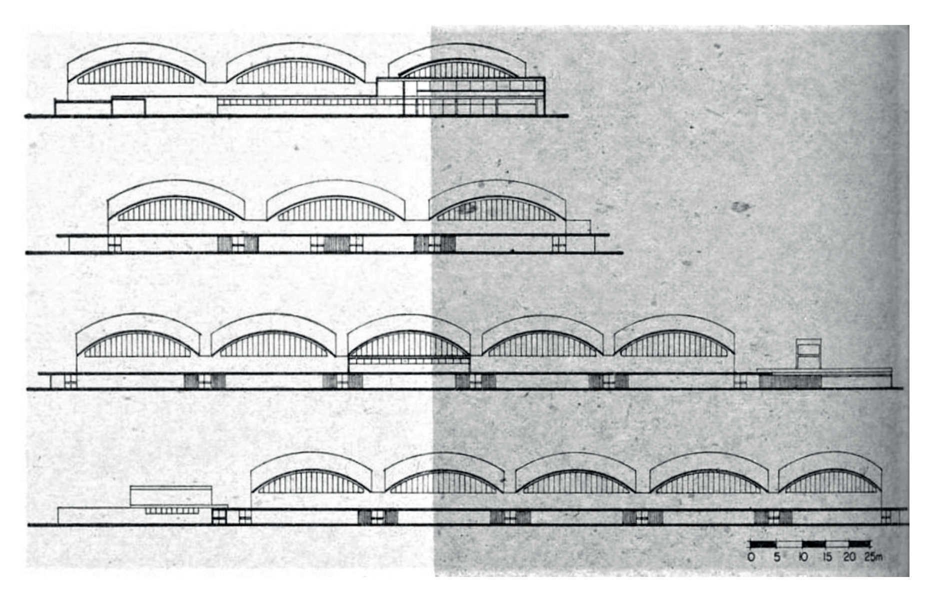


Figura 4
Mercado de Lagunilla, Ciudad de México, 1960 (Ramírez y Mijares 1966, 26)

nalmente construido (con sección irregular de 25 x 55 cm) sobresalía en parte por el extradós lo que permitía reducir el canto visto bajo la lámina desde el interior. Las naves tenían dos pisos con altura hasta arranque de bóvedas de 4,7 m en el superior y la misma altura libre el inferior. El forjado intermedio se sustentaba en una trama cuadrada de soportes fungiformes de módulo 6,4 m. Aun estando incluida la fábrica en nivel II de la lista de edificios protegidos fue demolida en 2001.

Algo posterior, pero con bóvedas vaídas esféricas, es el mercado textil y de confección de la Lagunilla, en ciudad de México, aún existente y erigido en 1960 (Ramírez y Mijares 1966).[5] Sus autores fueron Pedro Ramírez Vázquez, Rafael Mijares y Javier Echevarría, y consta de 15 bóvedas cuadradas de 23,66 m de lado con espesor medio de 6 cm separadas también entre sí por bandas horizontales (figura 4). Su relación flecha-luz es estimada en aproximadamente 1/6,6 y el arranque de la lámina se sitúa a aproximadamente 6,5 m del suelocon un único piso. Las láminas se perforaron con 8 lucernarios circulares, aunque de menor diámetro que en el caso anterior. El sistema de rigidización de bordes es el mismo que en Brynmawr de cuya solución se deriva, con arcos, viga tirante, montantes delgados y lucernario curvo entre ellos, y es, por lo tanto, el que podemos considerar característico en bóvedas vaídas con lucernarios. Los arcos de borde están también marcados al exterior y de igual forma sobresaliendo ligeramente por encima de la lámina. La solución de arcos con al menos parte de su canto bien definido en el interior posibilita que, tanto aquí como en el caso anterior, la lámina se vea con un nítido vértice en la esquina.

Henn (1965, 138) da,por otra parte, dos referencias notables de construcciones con bóvedas vaídas cuadradas de hormigón de 40 m de lado en San Petersburgo. La primera, para una fábrica de hormigón, estaría formadapor una sola bóveda,siendo realizada mediante placas anulares prefabricadas, mientras que la segunda constaría de seis bóvedas con destino de garaje. Aunque sin duda de gran interés por su tamaño y el uso de prefabricados, ambas se alejan no obstante como referentes de los ejemplos españoles. Aún más distante lo es otra propuesta, ésta solo en proyecto, de bóveda vaída prefabricada de 120 m de luz para el puerto de San Petersburgo (Henn 1965, 138).[6]

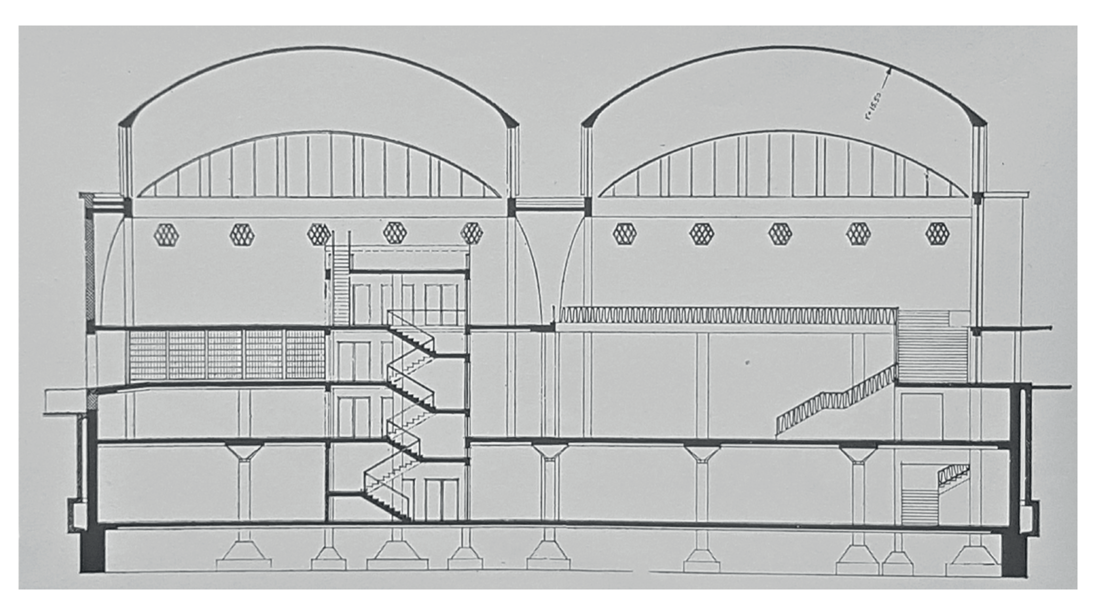


Figura 5
Mercado de la Cebada, sección transversal (García de Arangoa y Martínez Cubells 1962, 16)

Mercado de la Cebada

Exponemos este ejemplo en primer lugar por su clara similitud con los casos anteriores de Brynmawr y Ciudad de México. La construcción del nuevo mercado de la Cebada de Madrid en sustitución del previamente demolido de hierro y cristal fue finalizada en 1962 siendo sus autores José Martínez Cubells y Antonio García de Arangoa,[7] este último responsable de los cálculos estructurales. Su estructura de cubierta consta de 6 bóvedas vaídas esféricas de 24 x 20 m con espesor de 8 cm que aumenta hasta 15 en los arranques (García de Arangoa y Martínez Cubells 1962, 15-18). Con radio de 15,50 m su relación flecha-luz estimada es de 1/5,1, la mayor de todas las consideradasy, por tanto,conuna silueta más elevada que el resto. Como lámina sería por tanto en este sentido más conservadora que sus referentes, además de no estar perforada por lucernarios (figura 5). Análogamente repite la separación por bandas horizontales transitables en cubierta y la sustentación de bordes libres mediante el sistema de arco y viga tirante.

Sin embargo, con objeto de eliminar la presencia visual de los arcos como elementos añadidos a la lámina, estos se incluyeron en ella como un especial engrosamiento de su borde libre. Este aumento de espesor conformó el equivalente al arco, quedando el canto de la lámina rematado inferiormente mediante un plano horizontal y otro inclinado en bisel hacia el exterior (figura 6). Aunque no se evitó totalmente la percepción del engrosamiento desde fuera, sí se consiguió por primera vez la eliminación de los arcos de refuerzo como tales. La unión de la viga tirante con el borde se realizó con un menor número de montantes de hormigón, en este caso con solo cuatro elementos de sección 50 x 20 cm.[8]

Al contar con dos niveles de pisos accesibles al público, el mercado se asemeja más al caso de la fábrica, aunque con alturas algo mayores: el superior con una altura de 6,5m hasta arranque de la lámina y

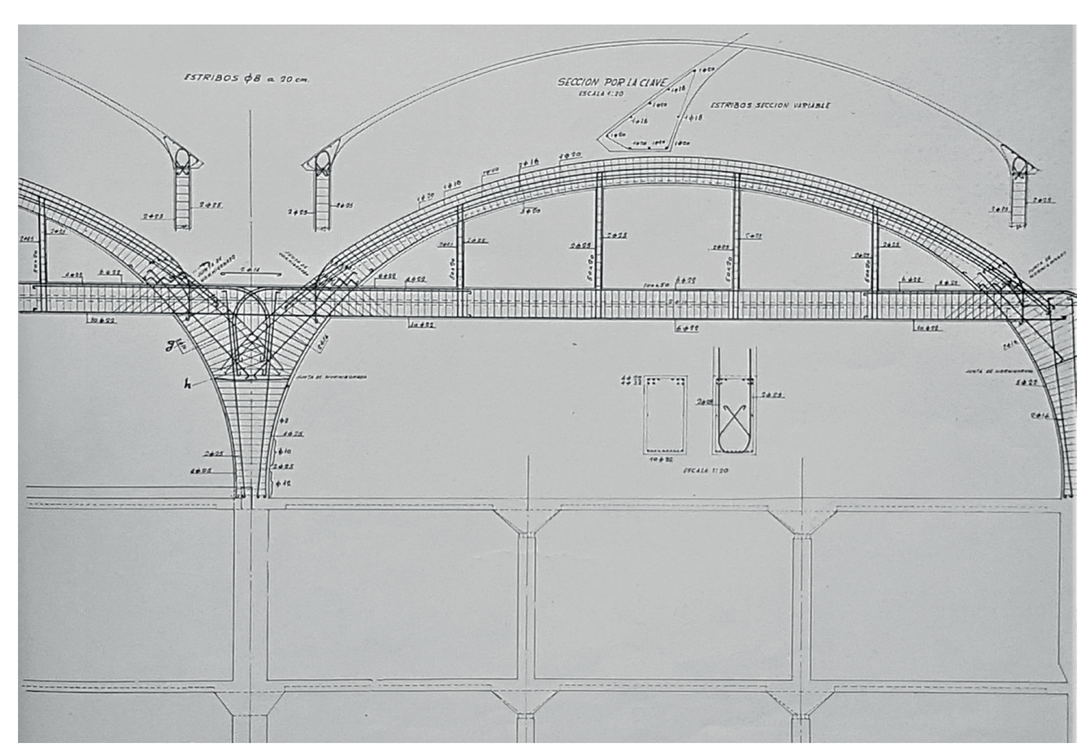


Figura 6
Mercado de la Cebada, sección por la lámina y armaduras (García de Arangoa y Martínez Cubells 1962, 17)

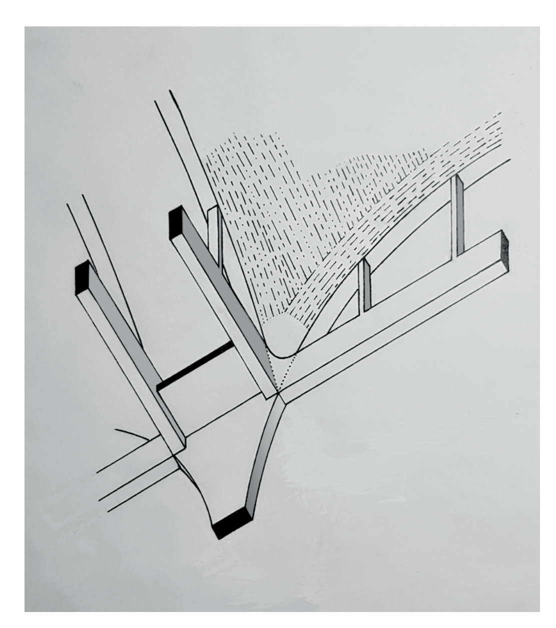


Figura 7
Mercado de la Cebada, axonométrica del apoyo (autor)

el inferior con 5,4m de altura libre.[9]Lo singular aquí, además de la mayor altura de espacios, es que ambos pisos quedaron como una única altura doble en la parte de la entrada en una extensión correspondiente a una bóveda.[10]Con ello, la visión de dicha bóveda en el vestíbulo alcanzó una plenitud y protagonismo que no se encuentra en las precedentes.Son distintivos también los soportes especiales de las bóvedas, conformándose como pantallas de perfil curvo y sección creciente hacia arriba para abarcar los apoyos de cada dos bóvedas consecutivas. Construidos por parejas, su idea presenta gran similitud con los soportes inclinados de Brynmawr en los que podrían inspirarse, aunque aquí queden unificados y dispongan su plano según la dirección corta. Un último elemento de singularidad se presenta en las esquinas interiores de las láminas, ya que, a diferencia de las anteriores, no forman un claro vértice, sino una superficie cóncava de transición que se prolonga desde la lámina a las vigas de atado concurrentes (figura 7). Esta singularidad se debe a que la misma línea inferior de los arcos se continúa formando el perfil de los soportes, lo que impide que el arranque de los arcos coincida con la esquina.

Bodegas Tío Pepe

El encargo inicial de las bodegas fue recibido por Eduardo Torroja y el arquitecto local Fernando de la Cuadra e Irizar en 1960, pero tras el fallecimiento del primero en 1961 se hizo cargo del proyecto estructural su hijo José Antonio Torroja Cavanillas (Fundación DOCOMOMO 2013, Pico 2005).Se trataba de una cubierta sobre planta de 42 x 168 m que, al descomponerse en cuatro módulos de 42 m de lado, hizo pensar en tantear soluciones de cúpulas esféricas que finalmente llevaron a esquemasde planta octogonal como en el precedente de Algeciras,en el que se inspiran.Las bóvedas se asentaron en este caso sobre la última de las tres plantas del edificio (figura 8). La forma octogonal elegida fue posible porque, aunque cada módulo debía ser diáfano en su interior,se permitían soportes en los límites entre módulos, lo que permitió apoyar los vértices interiores, ya dentro de la planta. Como resultado, todos los vértices se situaron sobre puntos de la trama cuadrada de soportes del edificio, separados 10,5 m entre sí. Los arcos de borde resultaron consecuentemente más pequeños en los chaflanes, pero en todos se empleó el sistema de rigidizaciónpor láminas cilíndricas horizontales en visera, al igual que en Algeciras. Con dimensiones totales muy similares a las del mercado, las bóvedas

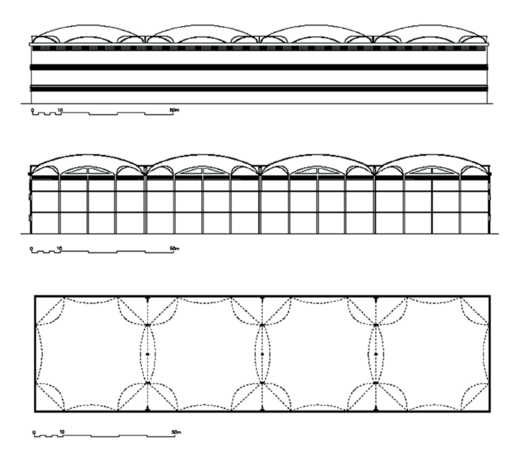


Figura 8
Bodegas Tío Pepe, planta, sección y alzado (Fundación DOCOMOMOIbérico. Registro industria,AND_8_24b, 27a, 23b)



Figura 9
Bodegas Tío Pepe, vista interior (Fundación DOCOMOMO Ibérico. Registro industria, AND_8_4)

esféricas resultantes son algo más rebajadas, con una relación flecha-luz sobre el diámetro estimada de 1/7.

Originariamente los tímpanos bajo los arcos debían ser abiertos, pero finalmente se construyeron cegados con elementos de hormigón. Los de las esquinas lo hicieron con muros verticales de hormigón revestidos de ladrillo y apoyados sobre las vigas de atado, pero para los de fachada se construyó una sólida estructura triangulada de hormigón con vigas inclinadas y viga tirante y un soporte central coincidente con los de fachada. Esta estructura solo se aprecia al interior al estar por fuera revestida de ladrillo. Estemismo sistema se empleó bajo los arcos divisorios entre módulos, quedando totalmente visible y con el soporte central a modo de parteluz entre ellos (figura 9). Dichos cierres de tímpanos y el sólido refuerzo comentado,estructuralmenteun tanto redundante y probablemente prescindible, conllevó una notable pérdida de luminosidad y de ligereza visual de las bóvedas, aunque para su empleo utilitario conviniera,al parecer, ese ambiente penumbroso. La altura sobre el suelo del arranque de bóvedas es cercana a los 6 mquedando a la vista en el interior las marcas radiales y anulares de las juntas de encofrado efectuado con placas contrachapadas de madera. Como réplica a Algeciras estas bóvedas reportaron seguramente pocos avances, aunque no debe dejar de notarse que cada una de ellas equivale a una lámina completa del mercado, posada en lo alto de las bodegas y a una altura de 21 m (figura 10).

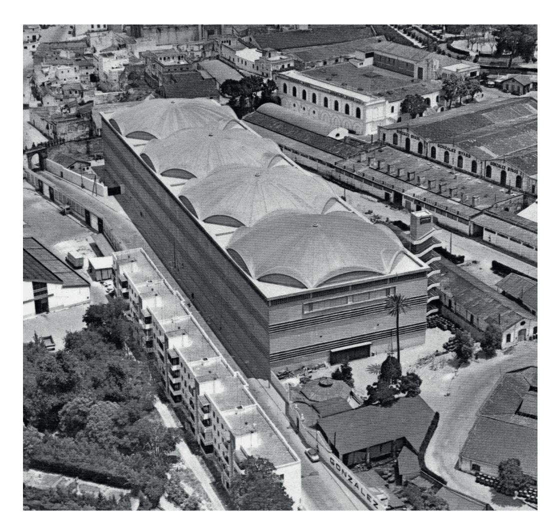


Figura 10
Bodegas Tío Pepe, vista aérea (Fundación DOCOMOMO Ibérico. Registro industria AND_8_34, http://www.postales inventadas.com)

Ferial de Barcelona

También octogonal fue cúpula de cubierta del vacío central del nuevo edificioferial de Barcelona inaugurado en 1963y diseñado por los arquitectos Ros de Ramís, Lozoya y Puigdengolas y Maña y el ingeniero Alfredo Páez, responsable de la lámina. Esta sitúo sus vértices sobre puntos de la trama de soportes de 11 m, dando lugar a un vano de 33 m y arcos de esquinas de mayor tamaño que el resto, por tenderse sobre las diagonales de cada uno de los módulos (figura 11). Como menciona su autor "una cúpula de 35 m de diámetro con sus 10 cm de espesor, no es un alarde estructural…no solo cubre el patio central del Edificio Ferial. Sobre ella carga el peso ingrávido de una nueva técnica constructiva"(Páez 1964, 76).Así pues, fue la técnica empleada la que hizo de esta cúpula un experimento muy diferente a las anteriores y que, aunque se reconoce "un poco desorbitado para las dimensiones", podría haber abierto "un campo de ilimitadas posibilidades". Por su autor más que una solución concreta fue considerada un "prototipo".

Lo que se buscó en este caso fue precisamente la desaparición de los arcos de borde como refuerzos engrosados típicos de estas soluciones, no deseando tampoco hacer uso de láminas-visera según el modelo de Algeciras. El sistema ideado fue conseguir que



Figura 11
Cúpula edificio ferial, 1963 (Páez 1964, 75)

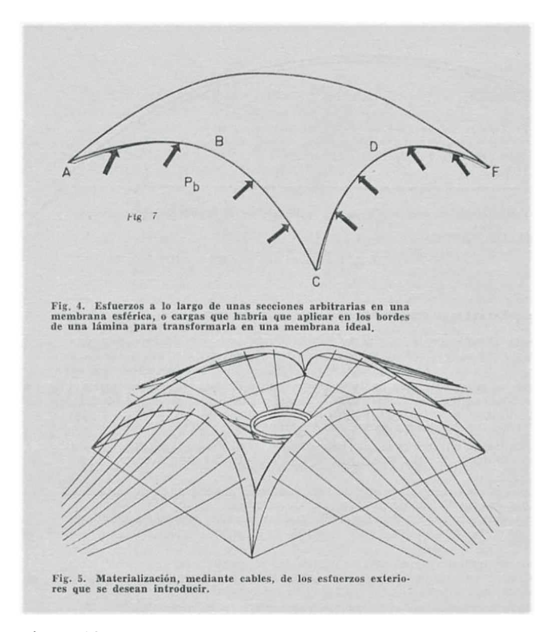


Figura 12
Esquema esfuerzos y cables sobre planta cuadrada (Páez 1964, 78)

los arcos de borde trabajaran con fuerzas exclusivamente actuantes en su plano, lo cual en condiciones normales no es posible dado que las fuerzas ejercidas por la lámina lo son en sus planos tangentes que tienen inclinaciones más hacia el exteriorque los planos de los arcos (figura 12). En este caso el centrado de fuerzas fue favorecido porque los planos de corte de lunetos se eligieron marcadamente inclinados hacia el interior y no verticales como en el resto de los casos. La inusual solución adoptadafue corregir la dirección de empujes de la lámina mediante un sistema de cables radiales que desde los arcos se unían en un anillo de hormigón colgante central (figura 13). El peso de dicho anillo, en este caso de 23 toneladas,fue suficiente para componer, con la tensión de los cables, una resultante ya en el plano del luneto. De esta manera los arcos, especialmente reforzados con perfiles y platabandas y con sección decreciente hacia el borde, solo tenían un espesor máximo de 15 cm.[11] Un sistema más sencillo, simplemente con tirantes horizontales cruzando el interior de la bóveda se desechó por no garantizar las posibles dilataciones térmicas el estado de equilibrio requerido.

El procedimiento que se empleó fue el de construir primeramente los arcos de borde de hormigón y mantenerlos en equilibrio, antes de hormigonar la lámina, con dos sistemas de cables. El primero, el ya mencionado hacia el anillo central, y el segundo, otro de los ingeniosos artificios de esta solución, con cables exteriores anclados al forjado y de dirección y tensión equivalentes a las que ejercería la lámina. Una vez hormigonada y fraguada la misma, la distensión de estos segundos cables sirvió tanto para des-

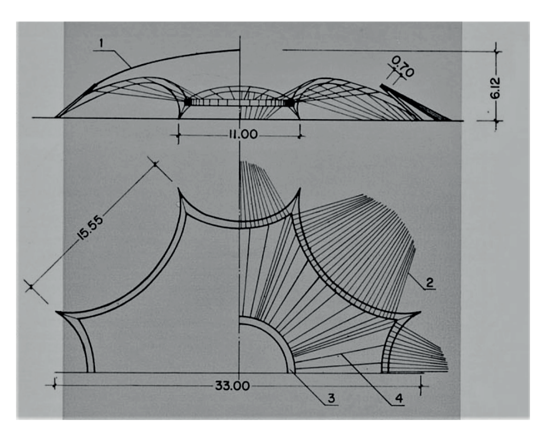


Figura 13
Cúpula edificio ferial, media planta y sección con cables (Páez 1964, 79)

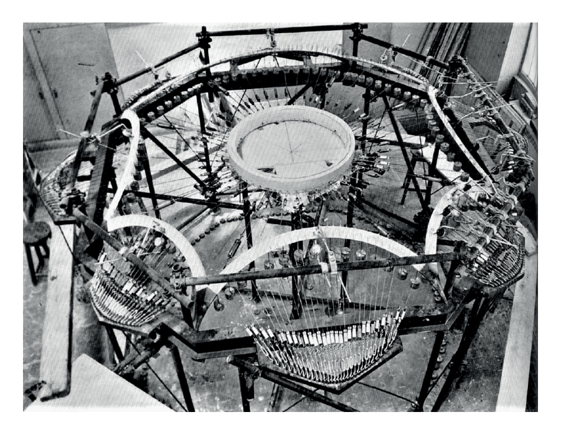


Figura 14
Modelo 1:10 aún sin lámina (Páez 1964, 80)

cimbrarla como para entrarla en carga, ejerciendo sobre los arcos las mismas fuerzas que los cables suprimidos. El anillo de hormigón, con sus 10 m de diámetro, además de contrapeso, hizo las veces de monumental lámpara colgante del espacio central.

La complejidad del procedimiento y su "tejer y destejer de cables" fue también puesta de manifiesto en el modelo a escala 1:10 construido en el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Madrid que repitió, "paso por paso, el procedimiento constructivo que, poco después, se seguiría en la realidad" (Páez 1964, 81) (figura 14). De este es interesantecómo reprodujo con todo detalle el conjunto de elementos y la forma de aplicación de cargas, con la incorporación de dinamómetros en los cables para medir las tensiones. Pero aún más relevante fue la observación de su comportamiento, mostrando una enorme resistencia a deformación, incluso tras la eliminación del anillo central o con sobrecargas asimétricas en media estructura. Finalmente, el colapso de la estructura,ya sin el contrapeso anular, sobrevino con sobrecarga de 1.250 kg/m2 produciéndose al abrirse las patas hacia fuera en virtud de la formación de dos líneas de charnela perpendiculares a la línea meridiana (figura 15). Esto se interpretó como prueba del efecto decisivo,sin el equilibrio proporcionado por el anillo, de la excentricidad de las fuerzas sobre los arcos de borde, especialmente hacia sus arranques.



Figura 15
Rotura del modelo (Páez 1964, 83)

Conclusiones

Los tres ejemplos comentados son muestra de la escala dimensional en que este tipo de estructuras pudieron realizarse sin excesivos elementos de refuerzo en bordes ni recurrir a nervaduras. Aunque en estrecha relación con ejemplos anteriores de la misma familia estructural, contienen particularidades en su ejecución o detalles de diseño que los convierten en singulares, si bien en diferente grado para cada uno de los mismos. La formaen que el último de ellos fue sometido a ensayo y sufrió finalmente rotura fue un experimento especialmente didáctico de su comportamiento estructural en general y de las razones por las que estas estructuras se construyeron reforzadas en sus bordes. Se ha observado también el amplio rango de peraltes posibles y, por tanto, su adaptabilidad a diferentes usos. Así, por ejemplo, los peraltes mayores - asociados complementariamente a menores tensiones - pueden parecer aptos para espacios de gran volumen no calefactados como mercados y, en cambio, los peraltes más reducidos para usos que sí debían estarlo. Su presentación comparativa ha permitido,en definitiva, apreciar el carácter especial de cada uno de los tres ejemplos, poniendo de manifiesto suvalorcomo elementos ya irrepetibles en el conjunto de las estructuras laminares existentes en nuestro país.[12]

Notas

1. La exclusión se extiende en general a las superficies esféricas sustentadas sobre anillos horizontales, aunque estos a su vez se sustenten en soportes puntuales.
2. El caso de las cúpulas esféricas delgadas fue uno de los primeros casos en que la teoría de membrana encontró una solución matemática exacta. La simetría total como forma de revolución y el apoyo continuo en la base permitieron simplificaciones que dieron lugar a sencillas formulaciones de las tensiones en meridianos y paralelos (Heyman 1995: 41).
3. Debe matizarse, no obstante, que en las configuraciones de planta cuadrada o rectangular se usaron con frecuencia superficies de traslación de los arcos de contorno y no exactamente esféricas, como se verá en los ejemplos de referencia.
4. Se toman las dimensiones de planta de *Informes de la Construcción* (A.D.V. 1949) por ser las más coincidentes con los 80 x 63 pies referidos en Cooperative Parternship y Ove Arup (1952). Hay no obstante gran diversidad según las fuentes, todas con dimensiones mayores que las anteriores y llegando hasta los 90 x 70 pies (aprox. 27,43 x 21,34 m) (Cooperative Partnership 1949).
5. Con bóveda vaída o quizás de traslación también debe mencionarse el Churchill Pavilion del Technion de Haifa erigido en 1958 por los ingenieros A. Sharon y B. Idelson y el ingeniero A. Weidarfield con una sola lámina cuadrada de aproximadamente 22,5 m de lado (Cassinello 1996: 530). Son destacables en él los marcados arcos de borde de sección variable engrosados hacia las esquinas. A diferencia de los ejemplos comentados en este texto no tiene vigas tirante visibles y por tanto se desvía algo de los casos más estándar que nos sirven de referencia.
6. También excluiremos aquí la considerada como cascarón puro más grande del mundo, y correspondiente al Smithfield poultry Market de Londres construido entre 1961 y 1963. Sobre planta de 69 x 38 m, su superficie es sin embargo de paraboloide elíptico (Wikipedia). Netamente superior de tamaño a las españolas, queda citada como ejemplo límite. Muy notable también, aunque con una configuración de solo tres apoyos, fue el adelantado Kresge Auditorium del MIT de Eero Saarinen de 1955. No obstante, su forma de octavo de esfera de radio 34 m y luz de 48 m no pudo ser soportada adecuadamente por los esbeltos arcos de borde, que se complementaron con montantes verticales (Foxe 2010: 195).
7. Ambos eran entonces arquitecto municipal de Madrid y catedrático de estructuras de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid respectivamente.
8. Las vigas-tirante tienen sección de 100 x 50 cm.
9. El mercado se construyó con otra planta más de sótano bajo las descritas y destinado en origen a almacén y hoy a garaje.
10. El forjado del segundo piso, así como el del techo del sótano se soportan mediante columnas de hormigón según una amplia trama de 8 x 6,7 m. Todas cuentan con capiteles fungiformes biselados de notable presencia que, sobre todo en la planta de acceso público, ponen un destacado contrapunto estructural a las bóvedas del nivel superior.
11. Un ejemplo previo con arcos de refuerzo citado por el autor como la mayor realización de lámina esférica hasta entonces, aunque hoy desaparecida, es el pabellón de la ONU en la Expo Bruselas 1958, octogonal también y de diámetro en torno a 45 m. Apreciablemente peraltada, sus arcos de borde eran de sección 1,5 x 1 m (Páez 1964: 78). Posteriormente, en 1971 y también sobre base octogonal, se construyó la estructura del Palau Blaugrana de Barcelona sobre diámetro de 78 m, aunque presentando una red de nervaduras en su interior(Cassinello1996: 530, 532-36).
12. Nota de filiación académica: El autor es Profesor Titular en la Universidad Politécnica de Madrid.

Lista de referencias

Arup, Ove N. y Ronald S. Jenkins. 1953. The Design of a Reinforced-Concrete Factory at Brynmawr, South Wales. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Part III, December. 343-79.

A.D.V. 1949. Construcción de edificios industriales (Industrial buildings). *Informes de la Construcción* 16: 139-3/1-29.

Cassinello Pérez, Fernando. 1996. *Construcción, hormigonería*. Madrid: editorial Rueda (ed. original 1974).

Co-operative partnership: architects; Ove N. Arup. 1947. Factory in South Wales. *Architectural Review* 608: 63-66.

Co-operative partnership y Ove Arup and Partners. 1952. Manufacture de Caoutchouc a Brynmawr. *L'Architecture D'aujourd'hui* 39: 63-65.

Dissinger, Franz. 1935. Die Rotationsschalenmitunsymemetrischer Form und Belasting. *Der Bauingenieur* 15: 374-381, 393-398.

Engel, H. 2001. *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Gustavo Gili (*Structure Systems*, 1968).

Fundación DOCOMOMO Ibérico. 2013. Registro Industria, AND_8_33. Ficha IPCE.

Foxe, David M. 2010. Saarinen's Shell Game: Tensions, Structures and Sounds at MIT. *Nexus Network Journal* 12 (2): 191-211.

García de Arangoa, Antonio y José Mª Martínez Cuvells. 1962. Nuevo Mercado de la Cebada. *Arquitectura* 42: 15-18.

Henn, Walter. 1965. *Buildings for Industry*. Vol. 1, p. 138 (Plans, Structures and Details). Londres: Iliffe Books Ltd (Ed. original, Munich 1961).

Heyman, Jacques. 1995. Soluciones de cáscara para cúpulas esféricas. En: J. Heyman, *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*, pp. 35-48, ed. S. Huerta. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Huberti, Günter. 1964. Die eneuerteBauweise. Parte B de *Vom Caementum zum Spanbeton. Beiträgezur Geschichte des Betons*, vol. I, p. 156. Wiesbaden y Berlín: Bauverlag.

Paez, Alfredo.1964. La cúpula del recinto ferial. *Informes de la Construcción* 157: 75-90.

Ramírez Vázquez, Pedro y Rafael Mijares A. 1966. Dos mercados en México. *Informes de la Construcción* 181: 25-32.

Pico, Ramón. 2005. Gran Bodega Tío Pepe. En *La arquitecturade la industria 1925–1965. Registro DOCOMOMO Ibérico, pp.* 102-3. Barcelona.

Torroja, E. 1962. Mercado de Algeciras. *Informes de la Construcción.* 137: 1360301-8.

Sistema estructural del castillo de Almansa

Joaquin Fco. García Sáez

Los castillos son edificios y, como tales, para su total comprensión se debe conocer los parámetros que los conforman, definen y constituyen su razón de ser. Estos parámetros son el medio donde se emplaza, la función que realiza, la sociedad que lo demanda, la construcción que los materializa y, por último, la composición o ausencia de ella.

En los castillos, la relación del edificio con el medio es uno de los aspectos fundamentales que lo van a caracterizar. Probablemente sea el más importante, puesto que los condiciona tanto en el parámetro de la función, como en el de la construcción. En esta comunicación nos vamos a centrar en el parámetro de la construcción.

El cerro del Águila

El Castillo de Almansa se construye en el Cerro del Águila (Figura 1), un violento resalte orográfico que se eleva 60 metros en su punto más alto desde la llanura desde donde emerge, dotando a este emplazamiento de todas las ventajas para constituir en él, de forma natural, un puesto de observación y defensivo de gran importancia sobre la llanura que domina y que se conoce como el Corredor de Almansa, zona poco accidentada y con aspecto de llanura. Este cerro ha estado habitado desde el origen de los tiempos tal y como muestran los resultados de las últimas excavaciones donde aparecen restos cerámicos de hasta la edad de bronce.

El cerro está constituido por rocas calcáreas y yesíferas estratificadas, dispuestas en lajas verticales alternadas orientadas de forma paralela a la dirección mayor del cerro (Norte-Sur) y sensiblemente verticales. Así pues un corte imaginario por un plano vertical perpendicular a la orientación de los estratos, que coincide con la máxima dimensión del cerro seguiría la dirección Este-Oeste, aproximadamente (Figura 2).

Esta disposición se debe a que tras unos movimientos tectónicos que afectaron a esta parte de la corteza terrestre en algún momento, todos los estratos de origen sedimentario, y por tanto originalmente horizontales, quedaron verticales (o ligeramente inclinados hacia el Este) y paralelos entre sí. Posteriormente, la erosión física, química y sobre todo antrópica se han ido encargando de desgastar las rocas y modelar el relieve actual del Cerro del Águila.

Nótese que los estratos rocosos más occidentales (del centro hacia la izquierda) están verticales o casi verticales; en tanto que los más orientales (del centro hacia la derecha) están inclinados en sus 50 metros superiores.

El estrato yesífero central, aunque no aflora y está cubierto por una capa importante de rellenos antrópicos, marca la separación entre los estratos verticales de un lado y los inclinados del otro. Estos rellenos son los que se han excavado para la realización del proyecto, actualmente en fase de ejecución, de Recuperación y conservación del Castillo de Almansa.

En la parte oriental del cerro hay un cierto predominio de las rocas yesíferas sobre las calcáreas, al

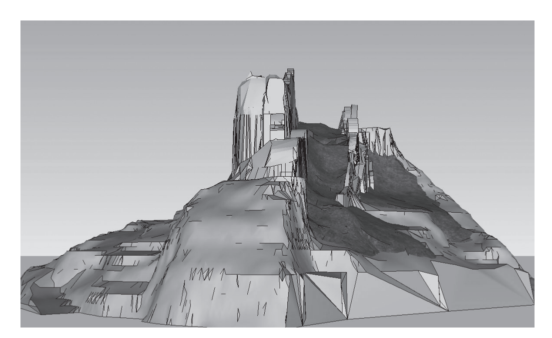


Figura 1
Hipótesis del Cerro del Águila antes de la intervención humana. Vista Sur (García Sáez 2017)

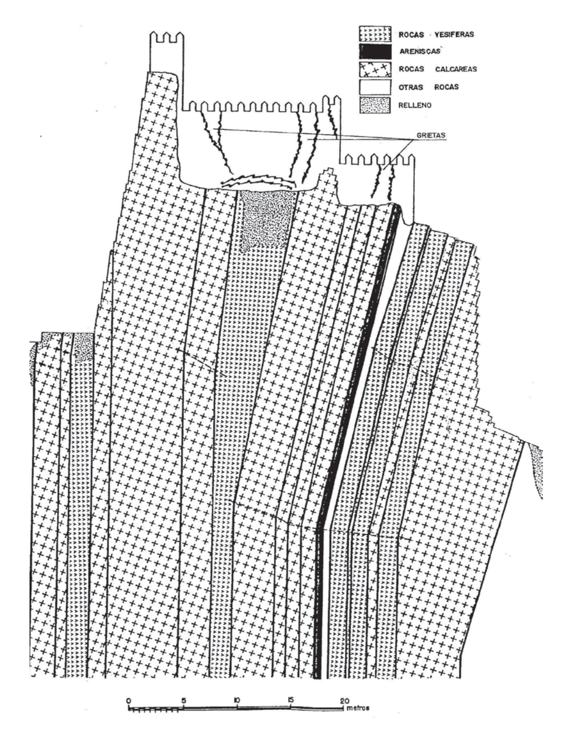


Figura 2
Sección transversal del Cerro del Águila. Estratos verticales del cerro del Águila que fundamentan el Castillo y entre los cuales se asientan las primeras actividades humanas (Uriel Ortiz y Puebla Contreras 1.990)

contrario de lo que sucede en la parte occidental. Las rocas yesíferas son más fácilmente erosionables, lo que ha determinado la diferencia de relieve entre una y otra parte del cerro con una pendiente muy fuerte en el lado occidental (prácticamente vertical) y más suave en el oriental.

La disposición vertical de los estratos, alternando los duros con los blandos, harán que los blandos, fáciles de excavar, sean los espacios interiores y los duros constituyan las cimentaciones y/o los muros del «edificio», organización que posteriormente será la base de la de la fortaleza: los estratos duros serán parte de los muros defensivos y los estratos blandos, fáciles de eliminar, serán ocupados por las distintas actividades humanas. La alternancia de los estratos verticales de distinta naturaleza del Cerro del Águila, ya descrita, será uno de los factores que nos conformará el edificio del Castillo de Almansa. Los estratos resistentes (calizos principalmente) serán el apoyo de los elementos estructurales del Castillo, pero no solo eso, sino que también se comportarán como elementos portantes y de cerramiento de los espacios que se generaron excavando los estratos débiles (yesíferos) del cerro. El Castillo de Almansa se construye, pero parte de él se excava, de ahí la gran vinculación entre el lugar y el edificio. Son inseparables. No está construído sobre el cerro, sino que nace de sus entrañas, dándole al Castillo un carácter orgánico (García Sáez 2011).

El Cerro del Águila que hoy vemos está fuertemente antropizado. Está transformado para obtener el mayor rendimiento posible en la función que desarrollaba: la de castillo.

El sistema estructural

Dada esta ordenación de estratos longitudinales los elementos estructurales del castillo se organizarán de tal manera que, en la medida de lo posible, todos apoyarán en ellos disponiendo sobre los estratos débiles solo los elementos de cerramiento sin componente estructural significativa, pero que también han de cimentarse.

Dependiendo de la naturaleza y morfología del estrato de apoyo se originaran distintos elementos funcionales y/o estructurales.

Todo el recinto superior del Castillo se emplaza sobre la laja de mayor altura del cerro situado en el frente oeste. De naturaleza caliza tiene alrededor de 8,00 m de anchura. Dimensión suficiente en anchura para albergar en ella los elementos funcionales como la torre del homenaje, un aljibe y otros espacios de

habitación que ocupan toda la dimensión de la laja. Son los elementos habitacionales que mejor han llegado hasta nuestros días porque, estando construídos por estructuras murarías, todos ellos están apoyados en un mismo estrato, por lo que no han existido movimientos diferenciales entre distintos estratos que les pudieran haber afectado a su estructura puesto que el estrato es único. Este recinto superior constituye a la vez la fachada y cuerpo oeste del Castillo.

Al este de este estrato calizo que constituye el recinto superior del Castillo, existe un estrato blando de menor altitud, de alrededor de 12,00 m de anchura que, debido a esta naturaleza, se ha excavado para aprovechar el espacio resultante del vaciado, encastrado entre estratos resistentes de mayor altura: el que se sitúa al oeste, arriba mencionado, y otro situado al este del espacio excavado, también de naturaleza caliza, pero de dimensiones inferiores al situado al oeste, tanto en altura como en anchura. La anchura de este estrato resistente, alrededor de 4,00 m no da para emplazar en él a un elemento funcional completo, pero sí que da para apoyar en él algunos elementos estructurales como muros portantes o arranque de arcos (Figura 3).

Así, para cubrir el espacio excavado se organiza una estructura que, apoyada en las lajas calcáreas que lo delimitan entre el oeste y el este, lo cierra cenitalmente. En este recinto, los elementos de cerramiento perpendiculares a las lajas calcáreas, apoyarán sin otra posible solución sobre los estratos débiles. Estos elementos de cerramiento serían estructuralmente eso, cerramientos sin carácter estructural en la medida de lo posible. Aquí se está viendo que además de los espacios del Castillo que nos han llegado, en relativo buen estado, ya nombrados del recinto superior, en su día existió un espacio habitacional que sus elementos estructurales estaban apoyados en distintos elementos y de naturaleza geológica diferente, por lo que existía una mayor probabilidad de que estos recintos fueran afectados por movimientos diferenciales de los distintos elementos de cimentación que pudieran ocasionar asentamientos u otras patologías que pudieran llevar a la ruina al del edificio.

Consecuencia de la disposición de los estratos resistentes en el Cerro, han llegado hasta nuestros días los distintos elementos estructurales y/o funcionales del Castillo con los que tenemos que tratar de comprenderlo.

Así se tiene claro el papel que realizan los estratos resistentes en relación con el estrato de naturaleza deficiente situado entre ellos: se comportan como los elementos estructurales y de cerramiento del espacio generado entre ellos.

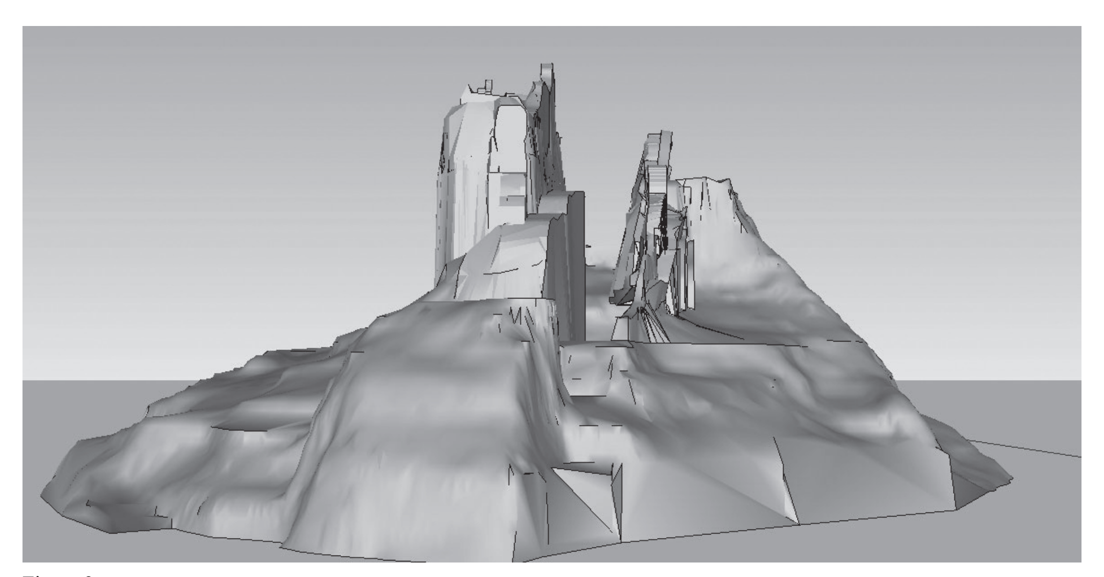


Figura 3
Hipótesis del Cerro del Águila después de la intervención humana sin el Castillo. Vista Sur (García Sáez 2017)

El espacio a cubrir entre las dos placas calcáreas resistentes es de unos aproximadamente 12,00 m de luz en su parte superior y de alrededor de 7,00 m en su parte inferior. Es una dimensión muy grande para proceder a cubrirlo con unos simples rollizos de madera del terreno que, de madera de pino carrasco, suelen ser de unos 3,5 m de longitud como máximo, por lo que hay que recurrir a otro tipo de elementos constructivos si no se quiere proceder a la realización de un pórtico o muro intermedio para el apoyo de los rollizos que estaría cimentado en el estrato débil con la diferencia de asientos que ello pudiera producir.

Es por esto por lo que, vistos los restos que nos encontramos al inicio de la intervención, en la construcción de esta parte del Castillo, se recurre a la realización de una estructura de arcos diafragmáticos para salvar la cobertura de este espacio, estructura de la que nos encontramos los arranques de los arcos apoyados en la roca (Figura 04 y Figura 05), y que es comúnmente utilizada en los siglos XIII y XIV, cuando se supone que se realizó esta estructura, parece ser que promovida por Don Juan Manuel que fue propietario del Castillo (García Sáez, 2019), encontrando ejemplos de la misma tipología constructiva en el entorno inmediato, como la ermita de San Antón de Almansa o en castillos de su propiedad como el de Alarcón (Figura 6). Se disponen los arcos diafragmáticos que salvan unas luces más grandes y sirven de apoyo, ahora sí, de unos rollizos de madera que se disponen perpendiculares a los arcos y sobre ellos se apoyará el cerramiento de la cubierta.

De esta manera se obtiene el cerramiento cenital del edificio. Pero existen unos muros situados junto a los dos macizos calcáreos del cerro, en la parte inferior del recinto, completamente independientes de la estructura que se ha descrito para la realización de la cubierta del edificio que, en fotografías antiguas, están coronados por los restos de una bóveda (Figura 7). Estos muros ya no están apoyados en los estratos duros calcáreos sino en el estrato central, anteriormente descrito de naturaleza yesífera y cubierto de rellenos antrópicos de características deficientes desde el punto de vista estructural.

Son estructuras independientes, distintas, con otra finalidad. La superior, que se ha descrito, resuelve el cerramiento el edificio, mientras que estos muros deben estar asociados a alguna construcción interna del recinto, pero son muros de gran espesor (aproximadamente unos 80 cm), casi del mismo espesor que



Figura 4
Restos de arranques de arcos diafragmáticos



Figura 5
Imagen de la recreación de la construcción de los arcos diafragmáticos (García Sáez 2017)



Figura 6
Nave con arcos diafragmáticos en el Castillo de Alarcón

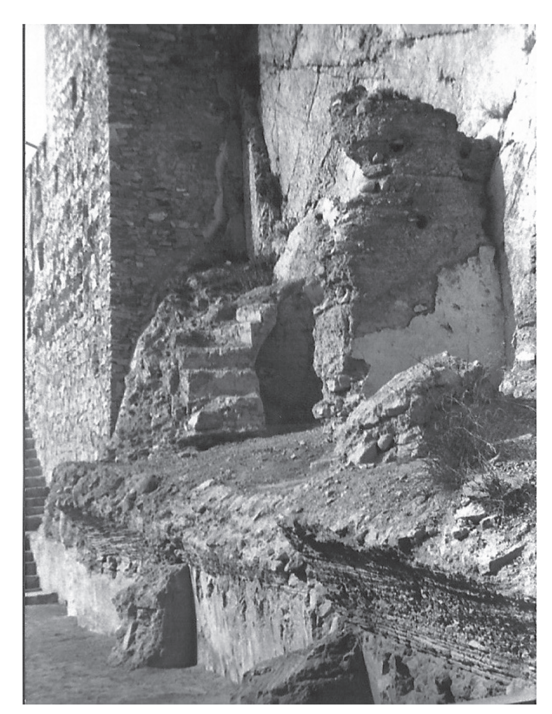


Figura 7
Arranques de bóvedas coronando muros que surgen del estrato deficiente (rellenos antrópicos)

los arranques de los arcos diafragmáticos, y por tanto con una importante capacidad portante.

Avanzando el proceso de excavación se constata que estos muros no tienen cimentación.

Arrancan directamente desde el terreno sin un elemento intermedio que se comporte como una zapata, rezarpa o escarpia a modo de cimentación que distribuya las posibles cargas de una edificación para que se transmitan al terreno y éste, en particular, como se viene comentando, no es un terreno estructuralmente resistente, sino que se trata de unos rellenos antrópicos cuyo valor de resistencia es prácticamente nulo (Figura 8). Incluso debajo de alguno de estos muros existe un vacío del terreno a modo de cueva (Figura 9).

Esto nos lleva a la conclusión que estos muros como elementos aislados no son unos elementos estructurales independientes, sino que forman parte de un elemento estructural más complejo formado por dos muros dispuestos cada uno junto a los dos macizos calcáreos del cerro unidos por su parte superior por una bóveda.



Figura 8
Tramo de muro apoyado en rellenos antrópicos



Figura 9
Tramo de muro apoyado «en el aire»

En este complejo elemento estructural, las cargas que se dispongan sobre la bóveda se transmitiría a los muros pero en este elemento, estructuralmente los muros del elemento no serían únicamente los rea-

lizados por el constructor, sino que el elemento estructural «muro» estaría constituído por la fábrica construída y el macizo calcáreo junto al que se construye, y que se utiliza de encofrado. Es decir, estos muros se construyen encofrados a una cara y constituyen un elemento estructural único junto al macizo calcáreo del cerro. Estructuralmente hay que considerarlos que funcionan los dos juntos.

Se consigue así un muro, en la práctica, de gran espesor cuya dimensión total será la suma del muro construido más el ancho del estrato calcáreo del cerro, de manera que los esfuerzos laterales de la bóveda quedarían absorbidos por este muro sin necesidad de que se trasmitan al terreno donde arrancan los muros construídos (terrenos deficientes). Por esta lógica constructiva y con el fin de transmitir cuanto menos cargas al terreno deficiente (arranque de los muros) sería conveniente la ejecución de bóvedas rebajadas frente a las de medio punto o las apuntadas porque las primeras transmiten más cargas horizontales que las otras dos y estas las soportarían el elemento constructivo formado por el muro construido y el macizo calcáreo junto al que se construye, y así de esa manera hacer posible y viable, estructuralmente, el hecho de que no exista cimentación en el arranque de estos muros puesto que no sería necesaria.

Así los muros de tapial que aparecen en la parte inferior del edificio considerados de una manera aislada no tendrían una misión estructural. Forman parte de un elemento estructural más complejo y su función dentro de éste sería únicamente de montaje para la realización de la bóveda. Incluso una vez realizada ésta pudieran ser prescindibles ya sea total o parcialmente.

Estos elementos estructurales complejos constituirían la estructura soporte, del primer nivel de piso de la parte del castillo construída entre las dos placas calcáreas que venimos describiendo. Dispuestos sobre rellenos antrópicos deficientes se conseguiría la nivelación y estabilización necesaria para su uso adecuado, que de otra manera no sería posible por la gran inestabilidad de los rellenos.

Aparentemente se podría pensar que se trata de una solución constructiva algo rebuscada para la cultura constructiva de carácter popular que, por norma general, impregnan este tipo de construcciones (García Sáez 2011 y 2017), pero hay que tener en cuenta que el Castillo de Almansa es un edificio defensivo y por tanto singular, promovido por personajes muy importantes en su época como lo fueron D. Juan Manuel o D. Juan Pacheco, y aunque se constata que se utilizan los elementos y sistemas constructivos de la época que se pudieran encontrar en cualquier construcción del entorno, probablemente a cargo de estas obras podrían haber estado algunos de los mejores maestros de obras y/o arquitectos del momento como Francesc Baldomar o Pere Compte (Martínez García 2015), y fueran éstos los que plantearan una solución de este tipo para la rehabilitación de un edificio heredado en el que parte de él se apoya en unos suelos provenientes de las ruinas de unas construcciones preexistentes.

Este sistema constructivo compuesto por dos muros unidos en su coronación con una bóveda, tanto morfológica como funcionalmente recuerdan a un sistema conocido desde la antigüedad romana como son los criptopórticos, utilizados para nivelar terrenos y transmitir cargas a terrenos deficientes, como se estaría haciendo en el Castillo de Almansa.

Debajo de estas bóvedas y delimitados por los muros que las soportan, se generan unos espacios susceptibles de ser aprovechados para cualquier uso compatible con ellos. Pero se trata de unos espacios residuales consecuencia el sistema constructivo, de ahí que sus paramentos se encuentren acabados con enlucidos, porque tenían un uso, pero nunca fue este uso el que originó su construcción. Se trata de espacios oscuros, cerrados y con mucha humedad, debido a su nula ventilación al encontrarse completamente cerrados y enterrados y a la naturaleza de su suelo, ya que son las ruinas de construcciones preexistentes.

Así el sistema estructural del Castillo de Almansa, como no podía ser de otra manera, es consecuencia de las características geomorfológicas del cerro del Águila, utilizando elementos simples como machones o muros apoyados directamente sobre los estratos duros del cerro y estos sistemas estructurales más complejos descritos para el apoyo en terrenos deficientes.

Ruina del edificio

La que venimos definiendo sería la estructura del Castillo de Almansa a finales del siglo XV. A partir de estas fechas, el castillo apenas sufre alguna modificación estructural de escasa importancia: solo la compartimentación en vertical de algunos espacios

como el de la torre del homenaje para adecuarla a las nuevas necesidades de sus propietarios y tendría la imagen exterior que nos muestran los dibujos de Anton van den Wyngaerde de 1.563 o el cuadro de la Batalla de Almansa de 1.709 pintado por Buonaventura Liglio y Phillipo Pallota, donde se reseña ocupado por los partidarios del Borbón y en relativo buen estado de conservación.

En ambas imágenes, podemos identificar el volumen constructivo que se ha venido definiendo en la comunicación situado al este de la laja que constituye el recinto superior del Castillo.

Después de estas imágenes del Castillo, no es hasta el siglo XIX o principios del XX y estas últimas ya fotografías, que se tienen imágenes donde aparezca este volumen constructivo y ya en ruinas.

La primera explicación, y aparentemente más intuitiva, de este hecho que nos planteamos en el Plan Director de Conservación Recuperación y Puesta en Valor del Castillo de Almansa, y previa a ninguna excavación, es que como esta parte del Castillo estaba apoyada en unos estratos deficientes, con el paso del tiempo, se ha hundido. Pero como se ha visto la envolvente de esta parte del Castillo NO estaba apoyada en el estrato deficiente, y lo que estaba apoyado en el estrato deficiente era una solución estructural que repartía las cargas a los macizos de roca laterales, por lo que podría incluso no transmitir ninguna carga al estrato deficiente, así que habrá que abandonar esa primera idea como causa de la ruina del edificio.

Se ha comentado anteriormente al respecto de los elementos estructurales utilizados para la estabilización de los suelos en la zona de terrenos deficientes, que estos elementos serían estables por siempre ya que las fuerzas horizontales que se transmiten a las lajas laterales que los confinan son infinitamente inferiores a la resistencia ejercida por estas lajas debido a su gran inercia. Es imposible que las solicitaciones que el edificio transmite a las lajas laterales las desplace.

Es imposible que las desplace, pero se podrían mover debido a otros factores como de hecho está claro que así ha ocurrido (Fernández Jiménez 2012).

En las fotografías de principios de siglo XX nos encontramos una grieta en la que se ha denominado como torre T5 en la fachada sur del Castillo consecuencia de un movimiento del estrato donde se apoya esta torre respecto al resto del Castillo que queda en su parte occidental.



Figura 10
Grieta entre torre T5 y resto del Castillo (Archivo Histórico Municipal de Almansa. Colección Loty 1927)

El estrato donde se apoya la T5 se desplaza hacia la derecha, que es la dirección este.

Este desplazamiento se aprecia uniforme en toda su dimensión vertical y es de alrededor de unos 40 cm, por lo que se entiende que el movimiento es un desplazamiento, no una basculación ni un asiento diferencial (Figura 10).

En la excavación del estrato deficiente, nos encontramos con que los restos de las construcciones (muros) que aparecen en este estrato situadas en su lado este, no están adosadas a la laja que confina los rellenos antrópicos. Están separadas aproximadamente 40 cm de la laja calcárea que es la misma donde se apoya la T5 (Figura 11).

Así están separados en toda la longitud norte-sur del Castillo desde la torre T5 situada en el extremo sur del Castillo hasta la torre T3 situada en el extremo norte del mismo (Figura 12).

Esta separación entre los elementos estructurales y la laja calcárea recorre en su totalidad todo el límite del estrato deficiente con la laja este que lo confina por ese lado. Al estar separados los elementos constructivos de la laja, nos indica que esta última se ha desplazado respecto a los primeros pero, evidentemente, no ha sido por el empuje de los elementos constructivos sobre ella porque, además de ser insignificantes frente a su inercia, en ese caso permanece-



Figura 11
Elemento estructural intermedio separado de la laja este



Figura 12
Arranque de torreón situado en la esquina noreste del Castillo junto a la laja este y separado aproximadamente 40 cm de ella

rían unidos. El desplazamiento de la laja oriental será la causa del colapso del edificio.

Pero la causa del desplazamiento, atendiendo a los indicios que se han encontrado en los restos del Castillo y a la morfología de la grieta, se entiende que es debido a algún sismo que se produjo en fecha posterior a 1.709, ya que en la imagen del cuadro de la Batalla de Almansa el Castillo aparece en pie y sin embargo en las imágenes del siglo XIX el Castillo ya está en ruinas.

Se llega a esta conclusión porque así nos lo indican los elementos constructivos que se materializan utilizando esta laja desplazada como elemento parcial de apoyo o como encofrado perdido (T5 y T3) puesto que se aprecia una correspondencia positivo-negativo entre el paramento de contacto del elemento constructivo y la laja como encofrado perdido sin descenso de esta correspondencia, por lo que se entiende que la laja no ha girado, ni ha descendido. La laja se ha desplazado horizontalmente respecto a su posición previa, cuando se construyó el Castillo y este movimiento solo es capaz de producirlo un sismo de gran envergadura.

Dos son los terremotos de importancia en la zona que se producen después de 1.709: el de Montesa en 1.748 y el de Lisboa en 1.755. Del de Montesa que destruyó por completo el castillo de esa localidad, no se han encontrado referencias relativas a Almansa. Del de Lisboa la referencia es que se «derrumbó una almena y parte de tapias, aunque bastante derruidas por el tiempo» (Pereda Hernández 2013 y Carpena Chinchilla y Andrés Díaz 2014, 124), daños mínimos sobre otros ya existentes que no se correspondería con la envergadura de un movimiento del tipo que estamos relatando, ya que un movimiento como el que se ha descrito en el cerro del Águila, ocasionaría la ruina total del edificio, y además ya nos habla de su mal estado en el momento cuando se produjo el terremoto de Lisboa y por lo cual se entiende que estaría ya abandonado.

El Castillo de Montesa era un edificio en uso por lo que su destrucción fue un hito importante en el momento, pero si el Castillo de Almansa, por aquel año ya estaba abandonado, su ruina no sería una noticia, y por tanto no tendría relevancia alguna, de ahí que no se nombrara. Hay que tener en cuenta que fue un terremoto de gran intensidad y muy cercano a Almansa. De las noticias del de Lisboa, tal y como se hacían los informes de la época, se puede entender

que el informe se realizara sin subir al mismo, por lo que se entiende que el sismo que afectó al movimiento de la laja en el cerro del Águila sería el terremoto de Montesa.

Conclusiones

El Castillo de Almansa no se puede comprender sin conocer el cerro del Águila donde se emplaza. Está íntimamente ligado a él. Condicionando su morfología y su elementos estructurales haciéndolo único e irrepetible adaptándolo a la función que se le exige como fortaleza.

El Castillo explota las características portantes del Cerro en su provecho utilizando siempre los estratos resistentes, bien directamente, bien a través de elementos estructurales más complejos que hagan llegar las acciones de la edificación a éstos, lo que puede indicar en su concepción cierta cultura constructiva, o lo que es lo mismo la participación de agentes especializados en la construcción como puedan ser importantes arquitectos aunque no se tenga constancia escrita de su participación en la construcción del edificio.

Por último se constata que es el Cerro también la causa de la ruina del edificio al desplazarse horizontalmente, y en toda su dimensión, una de las lajas calcáreas en la parte oriental del Cerro.

Lista de referencias

Carpena Chinchilla Francisco J. y Andrés Díaz Daniel. 2014. Historia: Terremotos históricos en Yecla. En *ATHENE. Revista de Naturaleza y Medio Ambiente de Yecla. Nº 24*. Ed. Asociación Naturalista para la investigación y defensa del Altiplano. Yecla, pp 120-135

Fernández Jiménez, Carlos. 2012. *Estudio de patología. Grieta en paramentos de la torre 5*

Almansa. Promotor Excmo. Ayuntamiento de Almansa. Almansa. Inédito.

García Sáez, Joaquín F. 2011. La construcción de un castillo. En *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Coordinadores S. Huerta, I. Gil Crespo, S. García, M. Taín. Ed. Instituto Juan de Herrera. Santiago de Compostela, pp 527-537

García Sáez, Joaquín F. 2017. El castillo que no vemos: reflexiones acerca del Castillo. Un ejemplo de fortificación del siglo XV. En *Jornadas de estudios locales. Nº 11 El Castillo de Almansa un símbolo del pasado con proyección de futuro*. Ed. Excmo. Ayuntamiento de Almansa. Almansa, pp 97-208.

Gil Hernández, Enrique R. 2015. *Memoria de ejecución fases I y II del proyecto de excavación arqueológica del sector 2.2 del Castillo de Almansa*. Excmo. Ayuntamiento de Almansa. Almansa. Inedita

Gil Hernández, Enrique R. y Matallana Fernández, F. 2017. *Memoria final Excavación Arqueológica del Proyecto Arqueológico y de restauración para el Castillo de Almansa – 1'5% cultural*, Almansa. Inedito.

Martínez García, Oscar J. 2015. *Arquitectura gótica y barroca en Almansa. Nuevas aportaciones*. Ed. Instituto de Estudios Albacetenses «Don Juan Manuel». Albacete

Pereda Hernández, Miguel J. 2013. *Almansa desde los Reyes Católicos hasta la Transición*. Ed. Excmo. Ayuntamiento de Almansa. Almansa.

Simón García, José L.; García Sáez, Joaquín F. y Segura Herrero, G. 2001. *Plan Director de Conservación, Recuperación y Puesta en Valor del Castillo de Almansa*. Promotor Excmo. Ayuntamiento de Almansa. Almansa. Inedito.

Uriel Ortiz, A. y Puebla Contreras F. J. 1.990. *Reparación y estabilización de los agrietamientos del Castillo de Almansa*. Ed. URIEL&ASOCIADOS. Pozuelo de Alarcón.

La lógica constructiva de la fortificación andalusí en Soria

Ignacio Javier Gil Crespo

La actual provincia de Soria ocupa un territorio que históricamente ha estado envuelto en disputas por su dominio y ha sido fortificado para defender la conexión del valle del Duero con los del Ebro (a través del Jalón) y del Tajo. En torno a los siglos X y XII se produce un proceso de fortificación muy intenso por parte del Califato con el fin de frenar a León y Castilla en su avance hacia el valle y la cabecera del Duero, ya que en el momento en que se dominase este territorio, quedaría cortado o al menos en peligro la comunicación entre las mesetas y el valle del Ebro: entre Toledo y Zaragoza.

La fortificación andalusí en la cabecera del Duero y la conexión entre los sistemas Central e Ibérico, territorio integrado en la actualidad en las provincias de Soria, Segovia, Guadalajara y Madrid ha sido estudiada en profundidad (Zozaya 1984, 1991, 1994; Manzano Moreno 1991; Retuerce Velasco y Cobos Guerra 2002; Lázaro Carrascosa 2007; Daza Pardo 2015), así como sus aspectos históricos y sociales (Bueno Sánchez 2012; Díez Herrera 2004; Acién Almansa 2008; García-Contreras Ruiz 2012). Fortalezas y ciudades importantes como Gormaz, Ágreda o Medinaceli han sido objeto de estudios arqueológicos profundos (Zozaya y Banks 1984; Zozaya 1991, 1994; Schnell Quiertant 1999; Almagro Gorbea 2008). También se ha estudiado desde el punto de vista territorial el sistema de atalayas que cubría y vigilaba las comunicaciones (Gaya Nuño 1944; Llul Martínez de Bedoya, Huete, y Molina Bermejo 1987; Caballero Zoreda y Mateo Sagasta 1988; Melendo Pardo, Carnicero Arribas, y ARECO SL 2003; Lorenzo Celorrio 2003; Serrano-Piedecasas Fernández 2007), que en la actualidad está siendo intervenido y puesto en valor. Además de los estudios generales, particulares y clásicos sobre construcción andalusí (Bazzana 1993; Azuar Ruiz 1995, 2005; Tabales Rodríguez 2000; Graciani García 2009; Soler Estrela 2009; Navarro Palazón y Jiménez Castillo 2011; Gil Crespo 2016b), en el ámbito del que tratamos aquí se han estudiado recientemente las técnicas constructivas (Daza Pardo 2015; Gil Crespo, Bru Castro, y Gallego Valle 2018). Sobre este cuerpo científico, lo que esta comunicación pretende ofrecer es unas reflexiones sobre la lógica constructiva de estas fortificaciones más allá de la mera descripción de aparejos, esto es: la construcción de una fortificación o de un sistema fortificado responde a unas necesidades (militares-defensivas, políticas, administrativas) y a unos recursos (materiales, humanos, económicos).

La Historia de la Construcción debe explicar la técnica de la construcción, el conocimiento científico que permite llevar a cabo la realización material de un proyecto y los agentes que se encargan de los procesos de la obra. La elección de una técnica de construcción frente a otra puede responder a diversos factores: la carencia o la abundancia de materiales para la construcción y para los medios auxiliares junto al conocimiento técnico de los operarios, su formación, especialización, su estructura jerárquica y organización laboral, la necesidad de ostentación frente a un utilitarismo más frugal y, en el caso de la arquitectu-

ra defensiva, la emergencia defensiva y la capacidad resistente a acciones externas específicas como asaltos, impactos o apertura de brechas.

Los objetivos de este trabajo es ofrecer una reflexión sobre la lógica constructiva que rige la edificación de las fortificaciones andalusíes califales en la cabecera del Duero en el territorio que actualmente administra la provincia de Soria, ordenando la información existente, mostrando el sistema fortificado que estructura el paisaje y el territorio e incorporando algunos de los ejemplos menos conocidos y las investigaciones más recientes. Se van a tratar las técnicas constructivas agrupando los ejemplos para tratar de entender su razón técnica y las características comunes.

La razón territorial de la fortificación

El interés de Roma por hacerse con el territorio de Numancia no residía en ningún tipo de riqueza económica ni social, sino en el control de una región, la Celtiberia habitada sobre todo por los Arévacos, que es la comunicación natural entre tres grandes unidades morfoestructurales del relieve peninsular: las cuencas de los ríos Ebro, Duero y Tajo. En efecto, el territorio que ocupa la actual provincia de Soria se estructura entre los sistemas Ibérico y Central, con cumbres relativamente grandes al norte más la presencia del Moncayo, pero con una sucesión de sierras y páramos que hacen de entronque entre ambos sistemas. Entre estas sierras se encauzan valles que vierten al Duero o bien al Jalón y al Ebro. Es a través de estos afluentes cómo se ha organizado históricamente el sistema de comunicaciones.

La visión romana de la Península Ibérica no está orientada de norte a sur como en la actualidad, sino que se pensaba desde el Mediterráneo (donde estaban los puertos principales de Tarraco o Cartago Nova) hacia el interior. Durante las Guerras Hispánicas entre Roma y Cartago y la posterior conquista de la península por los romanos, se emplearon los valles de los ríos y las sendas vernáculas como vías de transito de sus ejércitos, y fueron la base de la posterior red de calzadas romanas (Taracena Aguirre 1934, 259-61). Por el curso del Jalón se organizaba el paso entre los valles del Ebro y del Tajo y, por los afluentes del Jalón (Manubles, Henar, Nágima), se producía la comunicación con la cuenca del Duero. Ésta será la base de la futura vía XXIV del itinerario de Antonino. Es éste el territorio que controlaban los Arévacos; y éste es el territorio en el que Roma no podía permitirse ningún problema que interfiriese en un nudo de comunicaciones que afectaba a buena parte de la Península. Por este motivo las guerras numantinas duraron 20 años, hasta que los romanos tuvieron que contravenir sus propias leyes y costumbres e incluso tuvieron que adelantar la fecha de elección de los cónsules en 153 a.C. de los *idus* de marzo a las *calendae* de enero, cambiando así el año consular y marcando la base para la posterior reforma juliana del calendario que hará que hoy día el año comience el 1 de enero (Schulten 2004; Jimeno Martínez et al. 2002; Jimeno Martínez y de la Torre Echávarri 2005).

Varios siglos más tarde, el territorio volverá a estar en litigio. El avance de la corona de León y más tarde de Castilla obliga al califato de Córdoba a fortificar la Marca Media y a trasladar la capital desde Toledo a Medinaceli. Durante la Edad Media, se produce en esta zona la frontera entre Castilla y Aragón. La falta de accidentes naturales que formasen la frontera hizo que la frontera se tuviese que definir mediante la defensa de los valles de los ríos y las vías de comunicación.

El sistema territorial se articula en torno a unas ciudades importantes como Ágreda y Medinaceli y grandes fortalezas, como Gormaz y, posiblemente, Peñalcázar (Gil Crespo 2014a). Entre ellas se tiende una red de atalayas y pequeñas fortificaciones que controlan visualmente, sirven de apoyo militar con una reducida guarnición y de organización del espacio social. La Crónica Silense las menciona como «turres omnes vigiliarum barbarico more … atque municipia in valle Horcecorex ob tuitionem arantium boum per agros passim constructa» (citado por Melendo Pardo, Carnicero Arribas, y ARECO SL 2003, 171). Las atalayas se situaban en bordes de parameras o puntos altos con gran control visual de las comunicaciones (Torre Melero, El Tiñón, Carrascosa, Uxama, El Burgo de Osma, El Enebral, Quintanilla, La Ojaraca...), pero también en vados de ríos y fondos de valle junto a los caminos (Cántabos, Ontalvilla, Liceras, Montejo de Tiermes, Mosarejos, Nograles, Navapalos…), jalonando de esta manera los caminos y las rutas militares teniendo como referencia en muchas ocasiones las grandes fortalezas de Gormaz, Berlanga, San Esteban o Atienza (Retuerce



Figura 1
Sistema de atalayas: La Veruela y La Ojaraca en Caltojar

Velasco y Cobos Guerra 2002). En ocasiones forman sub-sistemas entre ellas, como es el caso de las dos de Caltojar (La Ojaraca, en alto, y La Veruela, en el valle), desde las cuales se divisa, respectivamente, Gormaz y Berlanga.

Por lo tanto, el espacio geográfico que hoy ocupa la provincia de Soria (que difiere en sus límites septentrional y meridional con otras divisiones administrativas históricas, pero no en el frente oriental que se ha mantenido inalterado) es un territorio densamente fortificado con elementos de gran importancia histórica y de gran valor tecnológico y patrimonial, además de ser representativos de todas las etapas y avances técnicos desarrollados durante el periodo medieval (Gil Crespo 2016a).

Fábricas de tapia de tierra

Las fábricas de tapia de tierra aparentan ser las más antiguas, quizá previas o al menos en uso a comienzos del siglo X, a juzgar por su empleo en las fortificaciones occidentales y por las reparaciones históricas que aún se aprecian. Esto no significa que todas las tapias de tierra han de ser coetáneas, pero lo cierto es que en lo que las crónicas llaman los «confines del país» (esto es, el valle del Duero a la altura de San Esteban de Gormaz) se conservan fábricas de esta técnica o sus huellas en Ayllón, San Esteban (Castro Muros o Castro Moros), Caracena y la primitiva Gormaz. Estas fortalezas quedaron bastante dañadas en los enfrentamientos del siglo X, como se lee en el *Muqtabis V* (Ibn Ḥayyān 1981, 110-11, 126-27):

> El 14 de rabi (4 de septiembre de 917) [an-Nasir, esto es, Abd al-Rahmán III] sitió la fortaleza de Castro Muros [San Esteban de Gormaz], donde se habían congregado los paladines de Castilla, que lucharon con los musulmanes a sus puertas en recia batalla, en la que ambos bandos dieron muestra de gran tesón, pareciendo los musulmanes victoriosos y estando a punto de triunfar contra los de la fortaleza.
>
> En este año [920] tuvo lugar la expedición de an-Nasir conocida como de Muez contra territorio enemigo … donde penetró de lleno, hollando sus llanos y alcanzando los confines del país, que asoló, destruyendo las fortalezas de Osma y Castro Muros con los correspondientes baluartes y torres, y gran número de conventos e iglesias.

En Ayllón se han datado los restos como pertenecientes al siglo X (Zamora Canellada 1993), si bien parece haber discrepancias en la datación de estos restos (Jiménez Esteban 2005). En cualquier caso, son anteriores a las reformas que María de Molina realiza en este cerro con la construcción de la torre La Martina en el cambio del XIII al XIV (Cobos Guerra y Castro Fernández 1998, 69; Cooper 2015, 502-8), que reviste una muralla previa. En la parte norte del cerro que domina la población se conserva un tramo amurallado con cubos de tapia de tierra, denominado Los Paredones, cuyas características constructivas hemos analizado en otro estudio (Gil Crespo 2016b). Es destacable la presencia de maderas de construcción, con medias agujas y sistemas internos



Figura 2
Los Paredones del castillo de Ayllón desde el norte, con la presencia de torres de flanqueo macizas de planta rectangular

de atado que también aparecen en San Esteban y Caracena. Estas dos poblaciones se encuentran en los caminos que comunican Ayllón con Gormaz, que estuvieron bastante transitados a lo largo del siglo X:

> El ejército partió de esta acampada e hizo alto junto a la fortaleza de Gormaz, en el Duero, a 10 millas de Ayllón, y desde allí fue a la acampada de Qastr.b, a 5 millas de Gormaz (Ibn Ḥayyān 1981, 256).

En Ayllón se conservan restos de las torres de planta rectangular y macizas que flanqueaban los muros. Estas torres están separadas entre sí unos 20 metros. Estos datos son importantes, como luego se verá a la hora de interpretar el interior de la fortaleza de Gormaz.

Para comunicar las fortalezas de Ayllón y Gormaz hay dos vías posibles. La primera sigue el trascurso del río Pedro desde Ligos hasta Peñalba de San Esteban (donde quedan restos que indican la presencia de una fortificación) para alcanzar el Duero en San Esteban. Desde aquí no resta más que continuar por el valle del Duero, pudiendo cruzarlo en Navapalos, en Vadorrey (Morales) o bajo el castillo de Gormaz.

En San Esteban, el primitivo castillo se situaba en el paraje conocido como Castro Muros o Castro Moros, con mejor posición topográfica y visual sobre el valle que el actual castillo bajomedieval. Se conservan algunas tapias, cuya construcción revela ser similar a la de las murallas urbanas. Estas murallas es-

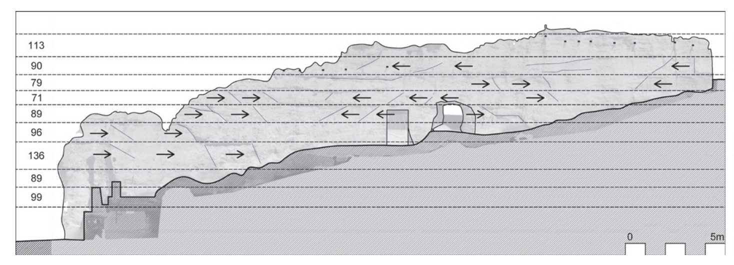




Figura 3
a. Alzado de la muralla de tapia de tierra de San Esteban de Gormaz, identificando los niveles y la dirección del proceso constructivo a partir de las improntas que, a pesar de la erosión, aún se perciben; b. Detalle de las medias agujas con sistema de anclaje

tán en un estado de conservación preocupante, dado que la erosión de sus paramentos ha mermado su volumen y sus aristas. Aun así, se puede leer el proceso constructivo de la tapia. Las excavaciones arqueológicas habían desvelado que la base de la muralla en la cercanía de la Puerta de San Gregorio (cuyo cubo es de sillería a tizones, como se expondrá más adelante) está datada en el siglo X (Heras 1997; García Palomar 2001), sin embargo se albergaba la duda de la datación de la estructura emergente. Esta duda ha sido solventada por Antonio Almagro, quien amable y generosamente me ha facilitado unas pruebas de C14 realizadas sobre agujas y maderas de construcción de esta muralla que determinan claramente la datación en de esta muralla en el siglo X.

Un aspecto singular es la incorporación de una estructura interna de madera en la parte superior de la muralla, con pies derechos incorporados dentro de la fábrica apoyados en agujas, formado una suerte de armazón superior que quizá pudo servir para soportar un cadalso, adarve volado o simplemente ser un refuerzo del parapeto y/o del remate almenado que pudo tener la muralla. Otra vez más, ha sido Antonio Almagro el que nos ha puesto en la pista sobre la uti-

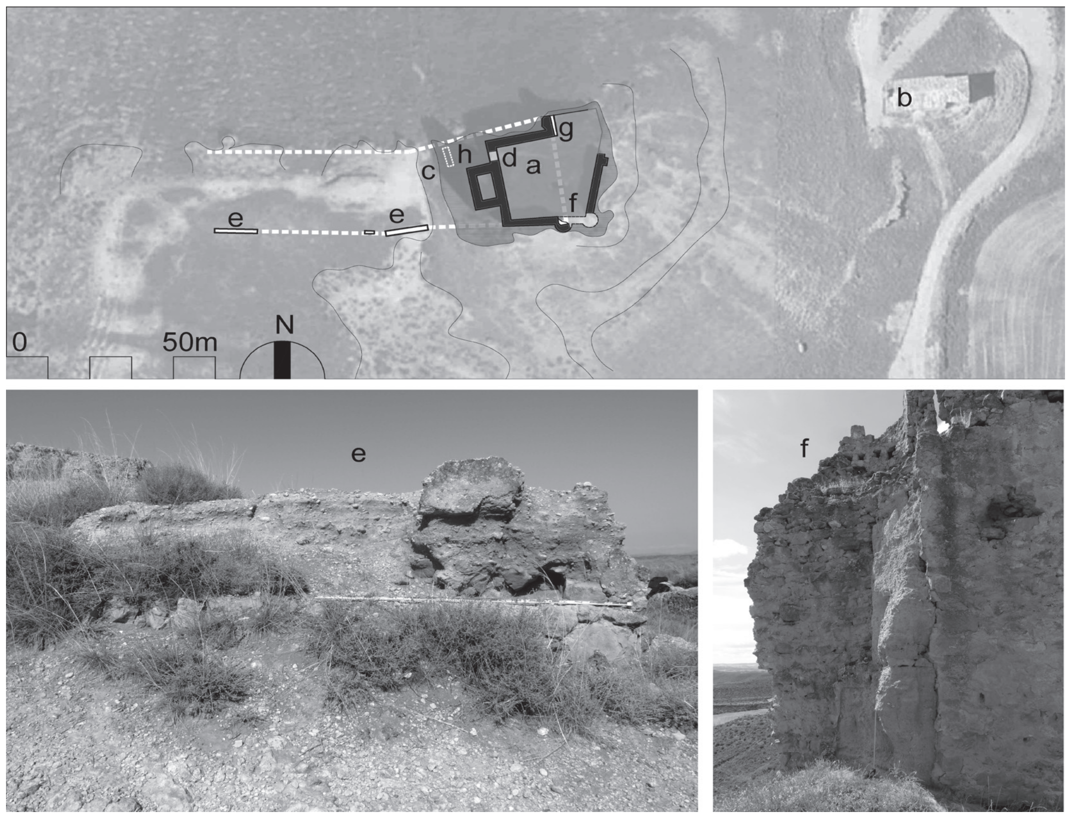


Figura 4
Planta del entorno del castillo de La Raya. La línea a trazos une los restos de tapia de tierra diseminados en el entorno y aprovechados en el castillo, dibujando la planta hipotética de la fortificación, posiblemente andalusí, previa al castillo bajomedieval: a. Castillo; b. Ermita; c. Foso excavado en la capa superior del bocacerril del páramo de roca caliza; d. Puerta del castillo; e. Restos de tapia de tierra que tienen continuidad con los conservados dentro del castillo; f. Resto de tapia de tierra encamisada en el interior de un torreón del castillo; g. Restos de la base de mampostería y del calicostrado de una tapia de tierra; h. Aljibe colmatado de escombros recientemente identificado

lización de unos palos verticales dentro de la masa de tierra en las murallas (bastante más tardías) de Mequinez (Marruecos).

La segunda comunicación con Ayllón discurre hacia el sur, remontando el río Caracena hasta llegar al valle del Pedro y, pasando por Liceras y Montejo, subir hasta Ayllón. Bajo el actual castillo señorial y artillero de Caracena se esconden unas fábricas andalusíes que muestran características similares con las anteriormente descritas, si bien aquí la tapia se construye inclinada. Aquí también se conservan las medias agujas embebidas en sus agujales (Gil Crespo 2016b). Esta tapia primitiva se reviste y recrece posteriormente con una mampostería de tizones inclinados. Este encamisado es similar al de Gormaz, con la diferencia de que en éste último no se ha conservado la tierra.

Estas fábricas nos sirven para conocer y entender la tapia originaria y desaparecida de la primitiva fortaleza de Gormaz, de época precalifal (Zozaya 1994; Almagro Gorbea 2008), que será comentada en el último epígrafe de este estudio.

Al este de la provincia, lindando con la de Zaragoza, y por tanto haciendo «raya» entre Castilla y Aragón, se encuentra el castillo de La Raya, en Monteagudo de las Vicarías. En un torreón del castillo se conserva una tapia de tierra que en mi tesis doctoral y posteriores publicaciones (Gil Crespo 2013, 2014b, 2015, 2016a) interpreté erróneamente como un relleno cuando, tras visitas más atentas, se trata de un muro de tierra muy deteriorado que es encamisado por el de mampostería. En otras partes del castillo bajomedieval se aprecia la huella del basamento de la primitiva tapia, además de en la parte exterior del castillo, donde se conservan los arranques de unos muros de tapia rotas por el foso del castillo. Estas tapias, junto con el aljibe recientemente identificado denotan la existencia de una fortificación primitiva, quizá de época andalusí, pero que no se puede datar hasta realizar estudios arqueológicos más completos.[1]

En este territorio no se han constatado más fábricas encofradas que la tapia de tierra, y con unas características particulares que las diferencian de otras fábricas como pudieran ser las norteafricanas más tardías (Gil Crespo, Bru Castro, y Gallego Valle 2018). En alguna atalaya, como la de Quintanilla, se percibe cierto afacetamiento de los paramentos cilíndricos o troncocónicos, lo que podría interpretarse como derivado del uso de encofrados o cajones de madera que, a modo al menos de guía, ordenasen la puesta en obra de la mampostería. Sin embargo, la ausencia (o la ocultación) de marcas constructivas que denoten el empleo de agujas así como de marcas de unión entre cajones parce indicar lo contrario. No obstante, esta duda persiste.

Fábricas de mampostería de piedra

Las fábricas de mampostería, por ser las más comunes, no dejan de tener interés, ya que su empleo re-





Figura 5
Aparejos regulares de mampostería o sillarejos en Belimbre (Santa María de Huerta) y La Ojaraca (Caltojar)

vela unas exigencias constructivas muy evidentes. Se encuentran mamposterías regulares, donde se buscan y seleccionan los mampuestos para que tengan tamaños similares y se carean un poco con el fin de que las hiladas sean horizontales y regulares, como es el caso del castillo de Belimbre, en Santa María de Huerta, o de varias atalayas como la del monasterio de Cántabos (Fuentelmonge), La Ojaraca (Caltojar) o Torre Melero (Riba de Escalote), entre otras fábricas.

El proceso constructivo consiste en colocar las piedras sobre un lecho de mortero fresco y aproximarlas, sin mortero en las llagas, para formar niveles horizontales. Una vez completado una hilada, se vierte un tendel de mortero, se le pasa la llana y se continúa con el siguiente nivel constructivo. Es una construcción económica, que cuando se realiza con detenimiento, construye muros muy ordenados y potentes.

Sin embargo, hay otro aparejo de la mampostería que no requiere de labra y que denota una puesta en obra acelerada: el aparejo inclinado o a espiga. Las piedras no se seleccionan ni se trabajan, sino que se colocan apoyadas unas en otras con una inclinación de manera que las más largas se tienden más que las más cortas buscando una cierta horizontalidad del nivel. No obstante, esta horizontalidad se garantiza no con la piedra, que se coloca en seco, sino con la gruesa capa de mortero que se vierte una vez completado el nivel. Choisy explica que este tipo de fábrica, en la arquitectura bizantina, aseguraba que el mortero fraguase antes de secarse en caso de no tener tiempo suficiente de endurecerse durante la

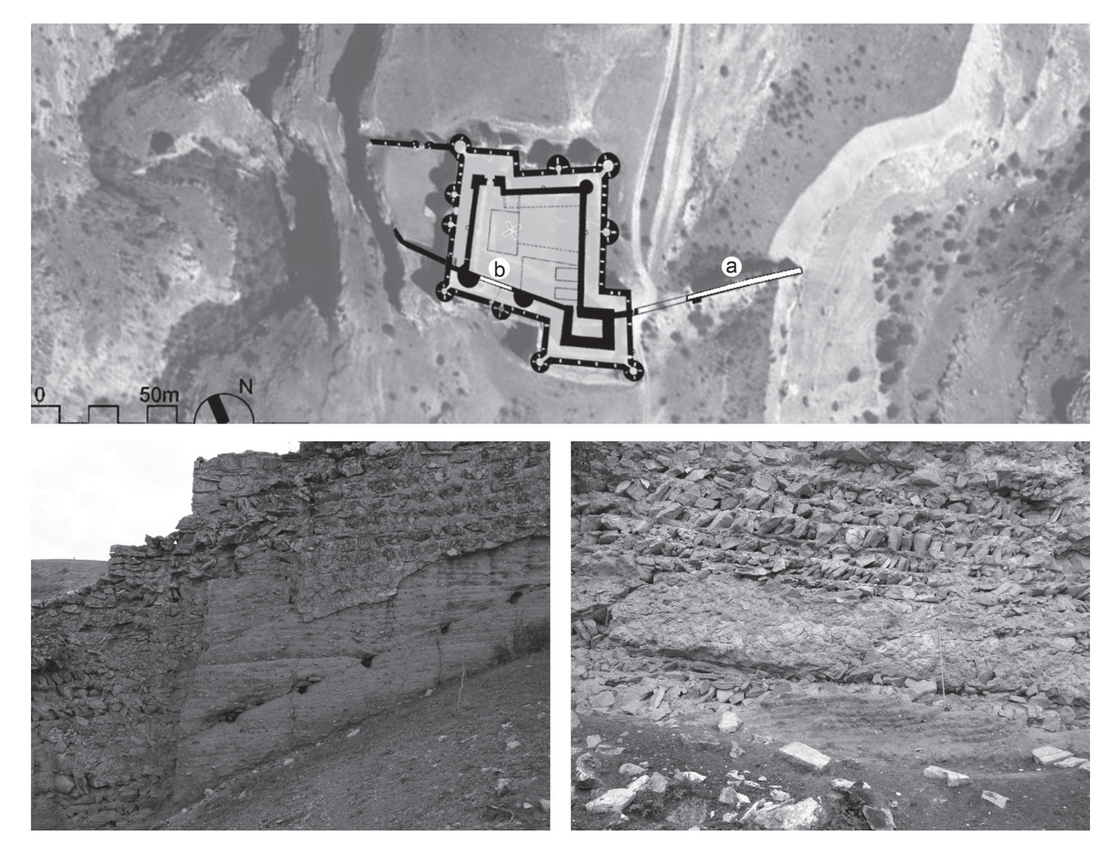


Figura 6
Planta del castillo (bajomedieval) de Caracena con indicación de las fábricas de tierra y sus recrecidos de mampostería inclinada visibles en el muro exterior del castillo (donde además cierra una brecha en la tapia) (a) y en el muro sur del patio de armas (b)

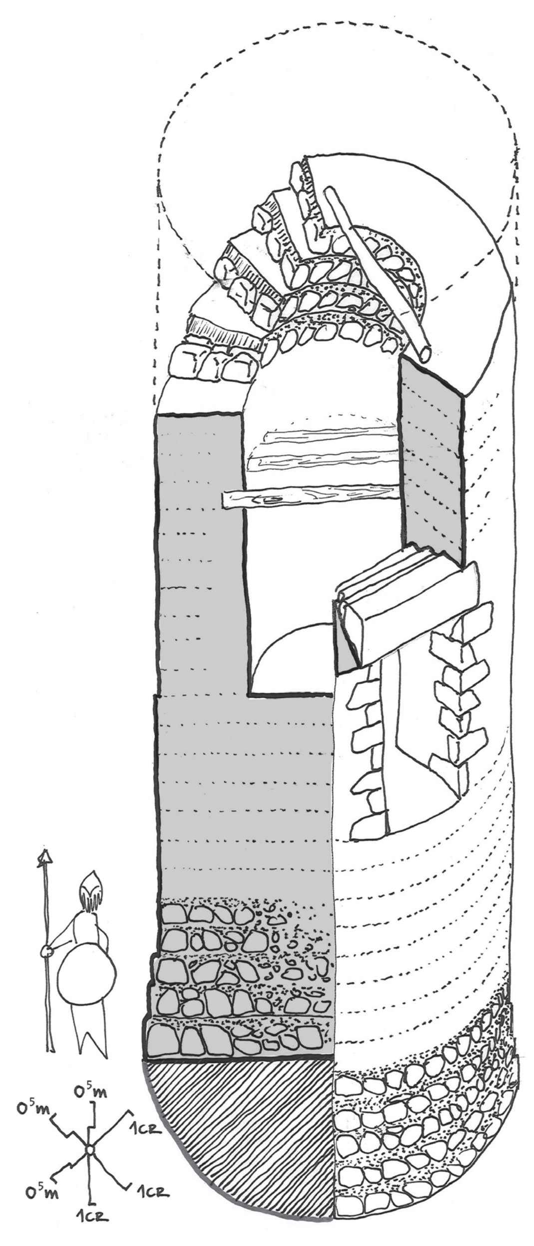


Figura 7
Axonometría constructiva de una atalaya

puesta en obra. Este singular aparejo se repite en muchos de los muros de las fortificaciones andalusíes de Soria, lo cual advierte de una decisión de



Figura 8
Detalle de la puesta en obra de los mampuestos en la atalaya de Navapalos

emplearla de manera sistemática y por una necesidad de rapidez en tener operativas las fortificaciones (Choisy 1883, 8).

El aparejo de mampuestos inclinados se utilizó para reformar o reconstruir algunas fortificaciones que habían quedado dañadas, encamisando o recreciendo sus primitivos muros. Así ocurre en Caracena, donde sobre una tapia de tierra inicial, que se advierte derrocada y arruinada, se levantan hiladas de mampostería a espiga. Estas fábricas serían más tarde vueltas a encamisar e incorporar a la fábrica del castillo bajomedieval.

Algunas de las atalayas en el entorno de Gormaz también se levantan con esta técnica, como es el caso de Navapalos. Se observa que cuando se termina cada hilada se le pasa la llana para enrasar. Con el mortero aún fresco, se comienzan a colocar los mampuestos del nivel siguiente. En las juntas verticales entre mampuestos no se dispone de mortero; esto sugiere la celeridad en la construcción. Volvemos a encontrar el empleo sistemático de estos mampuestos inclinados en la reforma de Gormaz, como se expondrá en el último epígrafe de esta publicación.

Fábricas de sillería

La arquitectura califal andalusí se ha caracterizado en varias ocasiones por el uso de aparejos de sillería



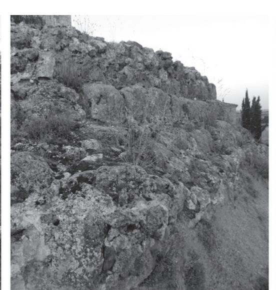
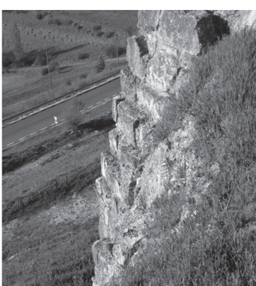



Figura 9
Detalle de las zarpas escalonadas de Gormaz, Soliedra, Barca y Medinaceli

denominados califales en los que se alternan las piezas dispuestas a soga con las colocadas a tizón, en diversos ritmos. La sillería es casi una marca distintiva de las grandes construcciones estatales, como los casos de Medina Azahara, Córdoba, Ceuta, Mérida o Vascos (Azuar Ruiz 1995; Pavón Maldonado 1999; Gurriarán Daza 2008; Bru Castro 2015; Gil Crespo, Bru Castro, y Gallego Valle 2018).

Además de los muros exteriores de Gormaz, quizá los más conocidos, en el territorio soriano se conservan otras fábricas de sillería cuanto menos espectaculares en lo que respecta a la calidad de su labra, como Mezquetillas o Conquezuela, además de otros restos de menor volumen (aunque revelan construcciones que fueron cuidadas por el aparejo de soga y tizón o de tizones que aún se puede observar) como Alcubilla de las Peñas, Barca, Morales, Liceras o los reutilizados como base de una torre más moderna en Soliedra o en el campanario de Bordecorex. También en las murallas y La Muela de Ágreda, donde se abrían unos arcos califales de herradura, se emplea la sillería (Gaya Nuño 1935; Ortego y Frías 1980; Benito Martín 1995; Schnell Quiertant 1999; Senent Díez 2002; Casa Martínez 2011).

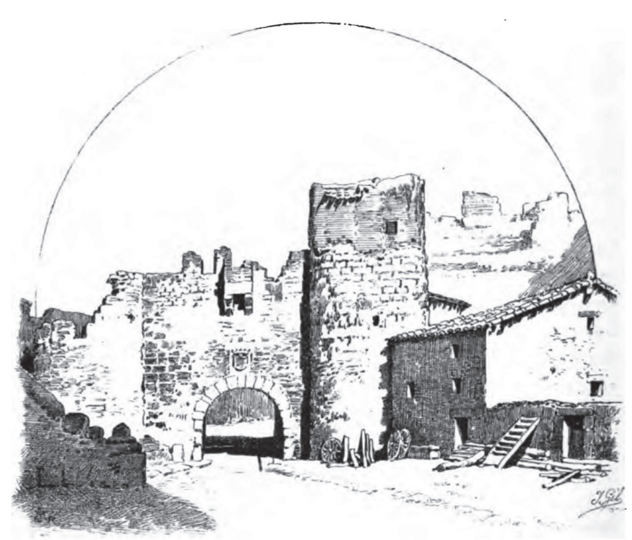



Figura 10
Cubo de la desaparecida puerta de San Gregorio en San Esteban de Gormaz, junto a un dibujo del siglo XIX por Isidro Gil que reproduce la puerta (Rabal 1889, 370)

Sobre las murallas de Medinaceli hay más incertidumbres que datos sobre su datación, además de que la falta de estudios arqueológicos metódicos no permite conocer la parte colmatada por escombros (Bertrand y Bertrand 1972; Cobos Guerra 2017). No obstante, hay ciertos detalles tipológicos, como las zarpas escalonadas de la base de los muros, que podrían ponerse en relación con otras fábricas andalusíes cercanas (Gormaz, Soliedra, Barca, Mezquetillas, Conquezuela…).

Con todo, hay tres fábricas en que las sillerías a tizones destacan por su calidad. Una es el torreón circular al cual se adosó la puerta de San Gregorio en San Esteban de Gormaz, donde, a pesar de algunas intervenciones agresivas que ha sufrido (como su intento de alicatado), se advierte una fábrica de gran calidad constructiva de sillares dispuestos a tizón con delgadas juntas de mortero de cal. En 1997 se realizaron unas excavaciones arqueológicas en el entorno de esta puerta, revelando que la cimentación de la muralla se realizaba con bloques de caliza (denominada «piedra nuez» en la zona) rectangulares a tizón de 2 m de ancho y con unas hiladas a soga y tizón, sobre la que apoyaba la perdida (en esta área) muralla de tapia de tierra (Heras 1997; García Palomar 2001).

Las otras dos fábricas de sillería mejor conservadas son las de las antiguas fortificaciones reformadas en iglesias de Mezquetillas y Conquezuela, que se perfilan como las más interesantes. Se trata de sendas iglesias que aprovechan los muros de antiguos torreones rectangulares y que adaptan su planta en tres lados, desmontando uno para formar la cabecera, y recreciendo la altura necesaria para construir la iglesia. Aún con estas transformaciones, los alzados de sus muros muestran una sillería califal de refinada calidad.

En Conquezuela se emplean sillares a tizón y soga, sin seguir un ritmo establecido. Es apreciable el nivel de labra, que llega a concertar varios sillares. La fortificación reutilizada debía tener planta rectangular, con talud.

La sillería de Mezquetillas alcanza un grado de trabajo de espléndida finura, tanto que las juntas entre sillares llegan a ser milimétricas. La planta de la actual iglesia aprovecha tres de los lados del torreón andalusí: sólo la zona de la cabecera fue desmontada y parece que sus sillares reutilizados en la nueva construcción (Gaya Nuño 1935, 151-55; Gaya Nuño 1946, 202-4; Daza Pardo 2015; Arrieta Berdasco 2015). Toda la parte inferior de la torre, que también presenta una zarpa escalonada en los primeros niveles, es de fábrica de tizones. Sólo en la zona superior del muro sur, a partir de la decimocuarta hilada, hace su intervención el característico aparejo califal de una soga entre tres tizones. Las juntas entre sus sillares son milimétricas hasta un punto de extrema exquisitez. La regularidad de sus niveles horizontales —no precisa en ningún punto de concertar el aparejo, como sí ocurre en Conquezuela— no lleva, sin embargo, de la mano una regularidad en las dimensiones. Aunque todos los niveles rondan los 45-50 cm (un codo) no hay una intención de exactitud en mantener esta dimensión. Lo pragmático de la construcción —en este caso, la forma y el tamaño de la piedra de la que se

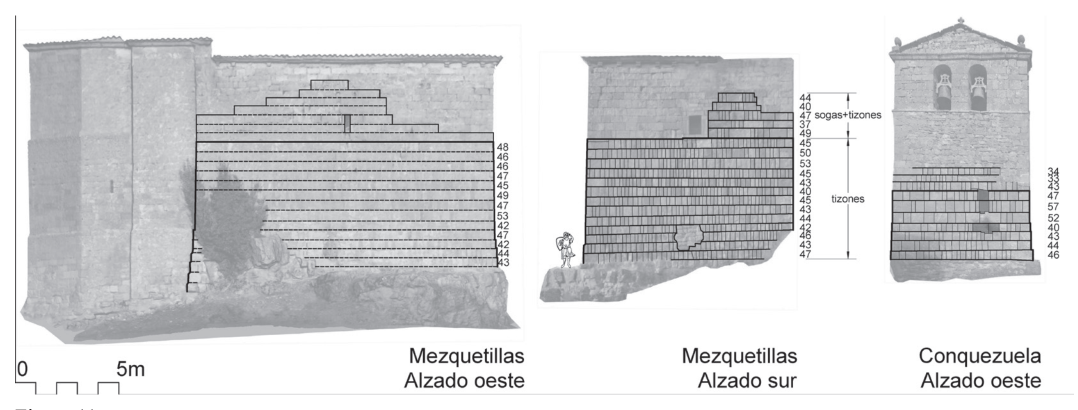


Figura 11
Alzados comparados de las fábricas de sillería de Mezquetillas y Conquezuela

extrae el sillar— prevalece sobre la intención proyectual de igualar dimensionalmente la obra.

Aunque este conjunto, por sí significativo, no llega a la importancia y desarrollo de otras arquitecturas que expresan la potencia del califato, sí pueden formar parte del programa estatal de fortificación, siendo la expresión de unas directrices de construcción comunes y que se encuentran repartidas por todo el califato. La orden y las directrices para la construcción de fortificaciones nacen desde la estructura estatal de funcionarios encargados por el califa, como el caíd de la Marca Media Durri ibn ‘Abd al-Rahman, quien tuvo el cometido de la construcción del alcázar de Toledo y de las fortificaciones entre Atienza y Talavera (Ibn Ḥayyān 1981, 295), o el visir Galib ibn ‘Abd al-Rahman, que se encargó de reconstruir Medinaceli y Gormaz en 946 y en 965-966, respectivamente (Gurriarán Daza 2004). La decisión, la orden y la dirección de la construcción de una obra de estas características surgen de la estructura estatal, pero el desarrollo técnico se lleva a cabo por operarios locales, cuya calidad técnica a veces no alcanza el estándar oficial (Manzano Moreno 1991, 154; Gurriarán Daza 2004).

En este sentido, es interesante la cita de Ibn Hayyan sobre el envío, por parte de Abd al-Rahman III a Musá b. Abi l-Afiya, de obreros para la construcción del castillo de Yara en el año 935-936:

> An-Násir le respondió en excelentes términos a esta carta, favoreciéndole en extremo y secundando su solicitud de construir su fortaleza, pues le mandó a Muhammad b. Walid b. Fustayq, su protoarquitecto, con 30 albañiles, 10 carpinteros, 15 cavadores, seis hábiles caleros y dos estereros, escogidos entre los más hábiles de su profesión, acompañados de cierto número de herramientas y accesorios para los trabajos que ejercían, todo lo cual le hizo llegar el sultán para superar el periodo que duraría el trabajo requerido, llevando también a Musa abundantes vituallas para sustento de él y los suyos, con que los reanimó a más de preciosos regalos de variadas telas y tapices valiosos y otros peregrinos objetos de consideración, cual nunca le diera (Ibn Ḥayyān 1981, 290).

Se constata la presencia de un protoarquiecto y la existencia de alarifes profesionales, que serían ayudados por obreros locales y, en algunos casos de emergencia militar, por las propias tropas, como también se recoge en estas crónicas y de lo que ya hemos tratado en un reciente artículo publicado (Gil Crespo, Bru Castro, y Gallego Valle 2018).

Un caso completo: el Castillo de Gormaz

Se han visto hasta ahora tres técnicas: tapia de tierra, mampostería de tizones inclinados y sillería califal. Hay un caso en el que se aglutinan y superponen las



Figura 12
Vista exterior de Gormaz con el puente sobre el río Duero en primer término

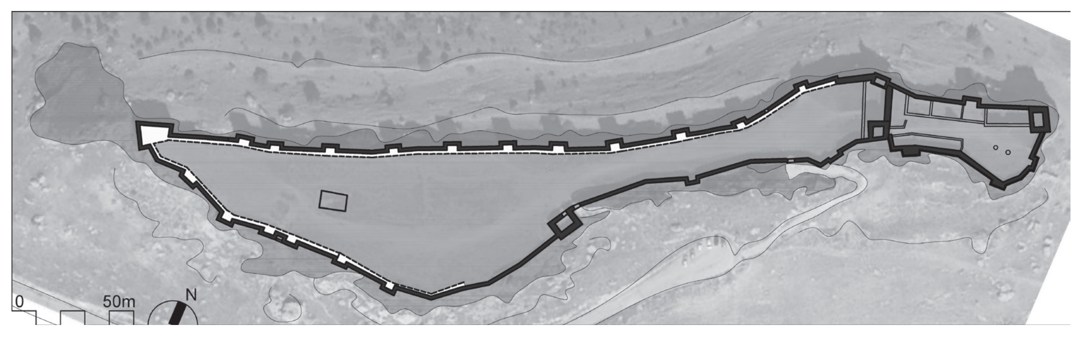


Figura 13
Planta de la fortaleza de Gormaz. Se indica, en un tono blanco, la extensión de las improntas que denotan la existencia de una fábrica de tapia de tierra previa que es encamisada por la mampostería inclinada y la sillería

tres, un caso de extrema singularidad, importancia y calidad: el castillo de Gormaz.

La poderosa imagen exterior de la fortaleza de Gormaz es impactante: en la escala territorial, por su emplazamiento topográfico; en la escala cercana, por sus fábricas de sillería con aparejo a sogas y tizones y la presencia grandiosa de la magnífica puerta de arco de herradura. Gormaz, aunque también es un recinto defensivo para albergar una tropa militar y punto de vigilancia del paso del Duero por el puente que lo cruza a los pies de la fortaleza, es una propaganda del Califato de Córdoba en los límites con el reino de León y con el condado (y luego reino) de Castilla.

La fortaleza de Gormaz domina un cerro testigo de forma alargada a cuyos pies discurre el río Duero y cuyo valle domina. El campo visual del castillo abarca un territorio enorme en todas las direcciones y es una de los fundamentos de la estrategia de dominio territorial basada en el control y la comunicación visual. La cresta del cerro se fortifica con un muro flanqueado por torreones cuadrangulares. En el extremo oriental se levanta la zona palaciega y alcazaba, que fue ampliamente transformada a finales de la Edad Media. En la proa occidental se ubica un potente torreón con estelas talladas con significación espiritual como protección de los genios maléficos. No obstante, el elemento más sobresaliente del castillo es su puerta monumental, que ha sido estudiada por Antonio Almagro (Almagro Gorbea 2008).[2]

Los muros exteriores son de sillería con sogas y tizones. A pesar de que en algunos tramos hay cierto ritmo del aparejo (s-t-s; s-t-t-s; s-t-t-t-s…) no se mantiene en todo el paramento. La base de los muros se ensancha con zarpas escalonadas formadas principalmente con tizones. Esto se advierte en otras fortificaciones de la zona, como Soliedra.

Las torres están distribuidas a lo largo de todo el perímetro con una separación entre los 16-18-20 m, y se conservan fundamentalmente las del lado norte y parte de los lienzos del sur. Estas torres, actualmente, están huecas. Estas torres coinciden en gran medida en su forma, dimensiones y separación con las del castillo de Ayllón. Por este motivo se puede pensar que la fortaleza primitiva de Gormaz no diferiría mucho de las características que aún se conservan en Ayllón.

Pero detrás de esta potente y buscada imagen se encuentran diversas fases de construcción. Basta observar las cortinas y torres desde el interior del castillo para advertir que la construcción se hizo rápidamente encamisando y recreciendo los muros previos, posiblemente de tapia de tierra, como bien advirtió Antonio Almagro (Almagro Gorbea 2008). Lo que hoy se ve desde el interior es el negativo de un primitivo núcleo posiblemente de tapia de tierra (¿similar a Ayllón, San Esteban y Caracena, quizá?) que pudo quedar dañada con las incursiones leonesas y castellanas de 934 (Cobos Guerra y Castro Fernández 1998, 38-39; Sanz Antón 2008). En efecto, hacia el año 965 el general Galib recibe el encargo de refortificar *al-Ṭagr al-awsaṭ* (Marca Media). Para esto debió emplear a las tropas, pero bajo una dirección y unas instrucciones precisas que denotan la capacidad organizativa de la construcción califal. Los viejos muros de la fortaleza primitiva se revisten y se repa-





Figura 14
a. Vista del interior de una torre con el recrecido del cuerpo de guardia y de una cortina en el frente norte de Gormaz. Obsérvese cómo la parte superior de la fábrica de mampostería en la cortina vuela, indicando que originalmente se apoyaba sobre una fábrica de tierra, hoy perdida. b. Detalle de la fábrica de mampuestos inclinados sin mortero en las llagas y con gruesos tendeles de regularización

ran con un forro de mampostería de tizones inclinados sobre una gruesa cama de mortero con la previsión de que la cara exterior se realiza en una cuidada sillería que le otorga una categoría oficialista y estatal a esta fortaleza.

La reforma del siglo X reviste por el exterior las fábricas primitivas de tierra con torres cuadrangulares macizas y eleva la altura de las torres con muros de sillería y mampostería. Sobre las torres se disponen cuerpos de guardia con saeteras en los flancos y el frente. La presencia de revestimiento indica que estuvieron cerrados y cubiertos. El adarve y parapeto posiblemente fue almenado, a juzgar por las improntas que permanecen en la parte de la alcazaba, si bien

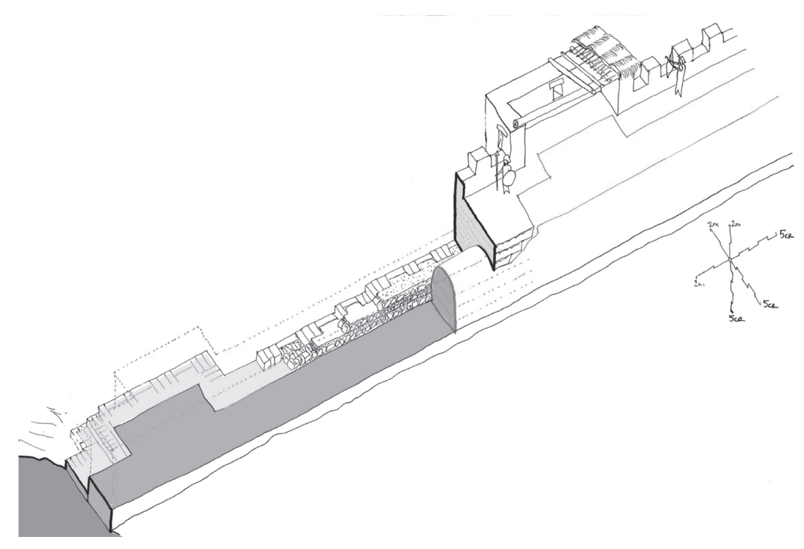


Figura 15
Axonometría constructiva que explica el proceso de reparación de la fábrica primitiva de Gormaz

esta parte es la más alterada por su uso posterior en la Baja Edad Media. La reparación de Gormaz debió ser parecida a la que narra la crónica de Abd al-Rahman III sobre la reconstrucción de las murallas de Évora en 913:

> Conmoviéronse todas las gentes de occidente, y los demás, fuertemente con lo ocurrido a los de Evora y, temiendo grandemente al enemigo, comenzaron a reparar sus murallas, proteger sus puntos débiles y fortalecer sus baluartes diligentemente. Fueron los de Badajoz, la mayor de sus ciudades, quienes mejor lo hicieron, gracias a su poderío: como la muralla de su alcazaba hasta entonces era de tierra apisonada y adobes, obra de su primer emir ʻAbdarrahmán b. Marwán al-Yilliqi en los primeros tiempos en que estuvo con ellos, hablaron a su señor, ʻAbdalláh b. Muhammad b. ʻAbdarrahmán b. Marwán b. Yünus, de que habían decidido fortificar la zona por el pavor que les había producido lo sucedido a sus hermanos de Évora, resolución a la que les animó, supervisando los trabajos en persona, en unión de sus capataces y obreros de la construcción de la muralla y fortificación de su coronación, haciendo que tuviese una anchura de diez palmos, en un solo bloque y continuando el trabajo hasta terminarlo con la mayor celeridad dentro de este mismo año (Ibn Ḥayyān 1981, 83).

Esto es: una primitiva muralla de tapia de tierra queda arruinada por causas bélicas y se repara rápidamente para que tenga un grosor resistente y fortificando su coronación. Con todo, la fortaleza de Gormaz es un compendio de las técnicas constructivas empleadas durante la dominación andalusí de este territorio hasta los siglos XI-XII (Gormaz se reconquista en 1060; la parte oriental del Duero y el valle del Jalón, entre 1119 y 1124 por parte de Aragón). Se han interpretado estas reparaciones como pertenecientes a la intervención del año 965, pero exite mayor diversidad de técnicas y fases de intervención, lo que parece indicar que no son las únicas reparaciones de la fortaleza. Desde esta puesta a punto de Galib en 965-966 hasta la reconquista por Fernando I hay 94 años de asedios y ataques cristianos que, con toda seguridad, tuvieron que provocar daños y reparaciones, aunque no estén documentadas. Se necesita, por tanto, un estudio atento y completo de la historia particular de la construcción, destrucciones y reconstrucciones de la fortaleza de Gormaz.

Conclusiones

La construcción califal en la frontera de la Marca Media tiende a ofrecer una imagen potente, dentro de la línea oficialista de las construcciones estatales, si bien el acabado no puede estar tan bien cuidado como las arquitecturas de la capital y sus cercanías. La celeridad en la construcción en una zona de frontera donde se están produciendo actividades bélicas continuas y donde las fortificaciones cambian de mano constantemente hace que se tengan que levantar y/o reparar con técnicas que no necesitan una mano de obra especializada (aunque sí bien dirigida) ni unas técnicas que requieran herramientas ni medios auxiliares complejos ni grandes esfuerzos económicos. No obstante, a la vez, la imagen que se requiere y ofrece es de gran potencia y calidad. Por eso conviven, a veces en la misma obra, técnicas económicas como la mampostería inclinada a espiga con técnicas «finas» como la sillería de sogas y tizones. Es lo que ocurre en Gormaz: por un lado, esta gran fortaleza debe reflejar el aparato estatal a modo de propaganda que le otorgue de una imagen potente, permanente y de superioridad técnica. Es algo más que un mero reducto de fuerzas militares: es la imagen de unidad y poder del califato cordobés ante el reino de León y el condado y posterior reino de Castilla. Pero, a la vez, debe construirse rápido y reparar la primitiva fortaleza emiral que había quedado dañada tras los enfrentamientos del siglo X.

Lo que se constata al estudiar la construcción andalusí en este territorio es la profunda sistematización de las técnicas. En los casos de fortificaciones menores del sistema, como las atalayas, se tiende a emplear la mampostería más o menos regular, aunque colocada de forma rápida. En otras ocasiones, y sobre todo en las reparaciones, la mampostería es totalmente irregular, siendo el tendel de mortero el que regulariza los niveles constructivos.

Se han presentado aquí una serie de fortificaciones pertenecientes a un sistema que, si bien tiene un gran número de elementos, hay lagunas por la pérdida, reutilización o desconocimiento de castillos y torres que debieron ser importantes, como son los casos de Gómara o Peñalcázar (Gil Crespo 2014a). El sistema se completaría con la presencia de alquerías y entidades de población rural ligadas a la ciudad (*medina*) como centro de poder civil y económico y el castillo (*hisn*) como centro militar (Bueno Sánchez 2009, 2012).

Estas reflexiones sobre la lógica de la construcción andalusí en la actual provincia de Soria están incompletas hasta que se hagan estudios específicos sobre aspectos de la construcción como la composición de los morteros y su posible sistematización (dosificaciones y estándares de mezclas de cal y yeso) en la parte de la fábrica en que se usa, como se está estudiando en otros restos y yacimientos (Peña Ruiz, Gallego Valle, y Molero García 2018). Otro campo de estudio abierto es la búsqueda de improntas constructivas que expliquen los medios auxiliares de construcción, como andamios, apeos, anclajes y reparaciones durante el proceso constructivo.

Notas

Esta comunicación pretende ser una puesta al día y mostrar unas reflexiones sobre la lógica constructiva de las fábricas con las que se levantaron las fortificaciones andalusíes en el territorio de la actual provincia de Soria. Nace de, y desarrolla, la ponencia oral presentada en el Seminario *Patrimonio rural/defensivo de Al-Andalus, la construcción de un paisaje. Últimos avances en su conocimiento, proyecto y conservación* celebrado en Baeza en octubre de 2018 y organizado por la Universidad Internacional de Andalucía. Sobre la historia, las relaciones territoriales y la arqueología de estas arquitecturas defensivas se ha estudiado y escrito mucho (y, en muchas ocasiones, bien). Para la redacción de estas notas han sido de gran ayuda los comentarios y la información facilitada por Antonio Almagro así como por Elena Heras (JCyL). Algunas de estas fortalezas se han recorrido y disfrutado con la compañía y magisterio de los arqueólogos Miguel Ángel Bru Castro, David Gallego Valle y Pablo Schnell Quiertant y las arquitectas Estefanía Herrero García y Sanaa Niar. También quiero agradecer a los alcaldes y vecinos de Serón de Nágima y Monteagudo de las Vicarías sus comentarios durante los dos Talleres de Arqueología y Arquitectura Fortificada Medieval que se han celebrado en estas localidades en 2017 y 2018, organizados por la Fundación Cárdenas con el patrocinio de la Diputación de Soria y la colaboración de diversas instituciones.

1. En octubre de 2018 se desarrolló el Segundo Taller de Arqueología y Arquitectura Fortificada Medieval en Monteagudo de las Vicarías. Una de las actividades fue una visita técnica al castillo de La Raya recorriendo e identificando sus partes, restos y elementos. Los asistentes locales llamaron nuestra atención sobre una cueva excavada en la década de 1940 por indicación de un zahorí en busca del oro que parecen esconder todos los castillos españoles. Al reconocer el interior advertimos que al excavar habían dado con un antiguo aljibe amortizado que, por su situación paralela al foso excavado posteriormente y frente a la puerta del castillo, indica que es previo a la construcción del castillo (Gil Crespo 2015) y que pudo ser utilizado como trampa.
2. Aunque no sean visibles sus restos, hay indicios para pensar que pudo haber una barrera o albacar que si no rodeaba el castillo, al menos en sus frentes septentrional y oriental ofrecía una primera defensa o articulaba la subida rodeando sus muros, lo cual será objeto de una investigación que se está realizando con la Fundación Cárdenas y la Fundación Castillo de la Estrella de Montiel, en colaboración con otras instituciones como la Asociación Española de Amigos de los Castillos.

Lista de referencias

Acién Almansa, Manuel. 2008. «Poblamiento y sociedad en al-Andalus: un mundo de ciudades, alquerías y husun». En *Cristiandad e Islam en la Edad Media hispana*, editado por José Ignacio (coord) de la Iglesia Duarte, 141-67. Logroño: Instituto de Estudios Riojanos.

Almagro Gorbea, Antonio. 2008. «La puerta califal del castillo de Gormaz». *Arqueología de la Arquitectura* 5: 55-77.

Arrieta Berdasco, Valentín. 2015. «Iglesias fortificadas de Castilla y León: simbiosis arquitectónica entre el uso defensivo y el religioso». Tesis doctoral, Valladolid: Universidad de Valladolid.

Azuar Ruiz, Rafael. 1995. «Las técnicas constructivas en Al-Ándalus. El origen de la sillería y del hormigón de tapial». En *V Semana de Estudios Medievales*, 125-42. Logroño: Instituto de Estudios Riojanos.

Azuar Ruiz, Rafael. 2005. «Las técnicas constructivas en la formación de al-Ándalus». *Arqueología de la Arquitectura*, 149-60.

Bazzana, André. 1993. «La construction en terre dans Al-Andalus: Le tabiya». En *7ª Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra. Silves. Portugal. 24 a 29 de Outubro de 1993*, 76-82. Lisboa: Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais.

Benito Martín, Félix. 1995. «La ciudad de Ágreda y sus murallas». *Arqueología y territorio medieval* 2: 99-114.

Bertrand y Bertrand, Ignacio. 1972. «Medinaceli, plaza fronteriza». *Celtiberia*, n.º 23: 193-201.

Bueno Sánchez, Marisa. 2009. «En la frontera de dos sociedades y culturas: los mozárabes en el centro de la Penín-

sula Ibérica (siglos VIII-XI)». *Collectanea Christiana Orientalia*, n.º 6: 427-32.

Bueno Sánchez, Marisa. 2012. «¿Frontera en el Duero oriental? Construcción y mutación de funciones en el Tagr Banu Salim (siglos VIII-XI)». En *La Península Ibérica en el siglo XII*, editado por Juan Martos Quesada y Marisa Bueno Sánchez, A.C. Almudayna. Madrid.

Caballero Zoreda, Luis, y Alfonso Mateo Sagasta. 1988. «Atalayas musulmanas de la provincia de Soria». *Arevacon*, n.º 14: 9-15.

Casa Martínez, Carlos de la. 2011. *Ágreda. La villa de las Tres Culturas. Papeles con historia*. Soria: Diputación de Soria.

Choisy, Auguste. 1883. *El arte de construir en Bizancio*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Cobos Guerra, Fernando. 2017. «Las murallas de Medinaceli». En *Medinaceli. Historia. Nobleza. Iglesia*, 333-42. Soria: Ayuntamiento de Medinaceli.

Cobos Guerra, Fernando, y José Javier de Castro Fernández. 1998. *Castilla y León. Castillos y fortalezas*. León: Edilesa.

Cooper, Edward. 2015. *La fortificación en España en los siglos XIII y XIV*. 2 vols. Madrid: Ministerio de Defensa, Marcial Pons.

Daza Pardo, Enrique. 2015. «Técnicas y materiales de la construcción fortificada altomedieval en el centro de la Península Ibérica: métodos de análisis a través de la arqueología y la historia de la construcción». Tesis doctoral, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Díez Herrera, Carmen. 2004. «Sobre la cuenca del Duero como sociedad de frontera». En *V Estudios de frontera. Funciones de la red castral fronteriza*, editado por Francisco Toro Ceballos y José Rodríguez Molina, Diputación provincial de Jaén, 125-35. Jaén.

García Palomar, Félix. 2001. «Fortificaciones medievales en San Esteban de Gormaz (Soria)». En *Actas del II Congreso de Castellología Ibérica*, 445-58. Alcalá de la Selva (Teruel: Diputación de Teruel, Asociación Española de Amigos de los Castillo.

García-Contreras Ruiz, Guillermo. 2012. «Reflexiones sobre la organización social del espacio del norte de Guadalajara antes de la conquista castellana: Riba de Santiuste y su territorio (siglos IX-XII)». En *Mundos medievales. Espacios, sociedades y poder*, 1:545-56. Santander: Publican. Ediciones Universidad de Cantabria.

Gaya Nuño, Juan Antonio. 1935. «La muela de Ágreda. Restos de la Almedina fortificada y de la Aljama hebrea». *Boletín de la Real Academia de Historia*, n.º 106: 271-85.

Gaya Nuño, Juan Antonio. 1944. «Atalayas cristianas de la frontera». *Archivo Español de Arqueología*, n.º 17: 124-30.

Gaya Nuño, Juan Antonio. [1946] 2003. *El románico en la provincia de Soria.* Madrid: CSIC, Centro de Estudios Sorianos

Gil Crespo, Ignacio Javier. 2013. «Fundamentos constructivos de las fortificaciones fronterizas entre las coronas de Castilla y Aragón de los siglos XII al XV en la actual provincia de Soria, Tesis Doctoral». Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Gil Crespo, Ignacio Javier. 2014a. «Análisis histórico, territorial y constructivo de la fortaleza de Peñalcázar (Soria)». *Arqueología y territorio medieval*, n.º 21: 105-23.

Gil Crespo, Ignacio Javier. 2014b. «Rammed earth walls in the late middle age castles in the actual province of Soria, Spain». En *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*, editado por Mariana Correia, Gilberto Carlos, y Sandra Rocha, 365-70. Londres: Taylor & Francis.

Gil Crespo, Ignacio Javier. 2015. «Tower of Martín González or castle of La Raya (Soria): territory, history, defense and construction». En *Proceedings of the International Conference on Fortified Heritage: Management and Sustainable Development*, 459-72. Pamplona: Ayuntamiento de Pamplona.

Gil Crespo, Ignacio Javier. 2016a. *Castillos y villas de La Raya. Fortificación fronteriza bajomedieval en la provincia de Soria*. Soria: Excelentísima Diputación Provincial de Soria.

Gil Crespo, Ignacio Javier. 2016b. «Islamic fortifications in Spain built with rammed earth». *Construction History. International Journal of the Construction History Society* 31 (2).

Gil Crespo, Ignacio Javier, Miguel Ángel Bru Castro, y David Gallego Valle. 2018. «Fortified Construction Techniques in al-Tagr al-Awsat, 8th-13th Centuries». *Arts* 7 (55): 1-31.

Graciani García, Amparo. 2009. «Improntas y oquedades en fábricas históricas de tapial. Indicios constructivos». En *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por Santiago Huerta, Rafael Marín, Rafael Soler, y Arturo Zaragozá, 683-92. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Gurriarán Daza, Pedro. 2004. «Reflexiones sobre la fundación del castillo de Tarifa y los constructores del califato de Córdoba». *Aljaranda. Revista de estudios tarifeños*, n.º 52: 5-11.

Gurriarán Daza, Pedro. 2008. «Una arquitectura para el califato: poder y construcción en al-Andalus durante el siglo X». *Anales de Arqueología Cordobesa* 19: 261-76.

Heras, Elena. 1997. «Soria». *Numantia* 8: 348.

Ibn Ḥayyān. 1981. *Crónica del califa ʻAbdarramān III an-Nāsir entre los años 912 y 942 (al-Muqtabis V)*. Traducido por Viguera, María Jesús y Corriente, Federico. Zaragoza: Instituto Hispano-Árabe de Cultura.

Jiménez Esteban, Jorge. 2005. «Las murallas y el castillo de Ayllón (Segovia)». En *Actas del III Congreso de Castellología Ibérica*, 633-40. Guadalajara: Diputación de Guadalajara, Asociación Española de Amigos de los Castillos.

Jimeno Martínez, Alfredo, y José Ignacio de la Torre Echávarri. 2005. *Numancia, símbolo e historia*. Madrid: Akal.

Jimeno Martínez, Alfredo, María Luisa Revilla, José Ignacio de la Torre Echávarri, Ricardo Berzosa, y Juan Pablo Martínez. 2002. *Numancia, Soria. Guía Arqueológica*. Soria: Junta de castilla y León, Asociación de Amigos del Museo Numantino.

Lázaro Carrascosa, Santiago. 2007. «Aproximación al estudio del sistema defensivo musulmán en la frontera de la zona oriental soriana (siglos X-XII)». *Revista de Soria*, n.º 56: 29-74.

Llul Martínez de Bedoya, Pilar, Mario Huete, y Jeús Molina Bermejo. 1987. «Un itinerario musulmán de ataque a la frontera castellana en el siglo X: fortalezas, castillos y atalayas entre Medinaceli y San Esteban de Gormaz (Premio Nacional Manuel Corchado. Mayo de 1987)». *Castillos de España*, n.º 93: 3-14.

Lorenzo Celorrio, Ángel. 2003. *Compendio de los castillos medievales de la provincia de Soria en el que se incluyen torres y atalayas de la misma época. Aumentado con las trazas de los ejemplares más representativos y adornado con ilustraciones de aquéllos que conservan restos significativos*. Soria: Diputación Provincial de Soria.

Manzano Moreno, Eduardo. 1991. *La frontera de Al-Ándalus en la época de los Omeyas*. Madrid: CSIC.

Melendo Pardo, Mecedes, José María Carnicero Arribas, y ARECO SL. 2003. *Guía turística del sur de Soria. Atalayas y fortalezas en la frontera del Duero*. Soria: ADEMA, Asociación Tierras Sorianas del Cid. Diputación Provincial de Soria.

Navarro Palazón, Julio, y Julio Jiménez Castillo. 2011. «Materiales y técnicas constructivas en la Murcia andalusí (siglos X-XIII)». *Arqueología de la Arquitectura*, n.º 8: 85-120.

Ortego y Frías, Teógenes. 1980. *Ágreda: Bastión de Castilla hacia Aragón*. Soria: Caja General de Ahorros y Préstamos de la Provincia de Soria.

Pavón Maldonado, Basilio. 1999. *Tratado de arquitectura hispanomusulmana*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Peña Ruiz, Cristina, David Gallego Valle, y Jesús Molero García. 2018. «Una opción sostenible en la conservación patrimonial: el Conjunto Arqueológico del Castillo de La Estrella (Montiel, Ciudad Real)». En *Eta ondoren? Kultur Ondarea kontrolatzea eta mantentzea, aukera iraunkorra. ¿Y después? Control y mantenimiento del Patrimonio Cultural, una opción sostenible*, 392-401. Vitoria: Grupo Español de Conservación.

Rabal, Nicolás. 1889. *Soria*. Barcelona: Establecimiento tipográfico-editorial de Daniel Cortezo y C.

Retuerce Velasco, Manuel, y Fernando Cobos Guerra. 2002. «Fortificación islámica en el Alto Duero versus fortificación cristiana en el Alto Duero». En *Cuando las horas primeras. En el milenario de la Batalla de Calatañazor*, 229-57. Soria: Universidad Internacional Alfonso VIII.

Sanz Antón, Fernando. 2008. *Gormaz. Comunidad de villa y tierra castellana. La gran fortaleza Califal (Soria-El Burgo de Osma)*. Soria: Diputación Provincial de Soria.

Schnell Quiertant, Pablo. 1999. «Notas sobre las fortificaciones islámicas de la Muela de Agreda». *Castillos de España*, n.º 115: 19-23.

Schulten, Adolf. 2004. *Historia de Numancia*. Pamplona: Urgoiti.

Senent Díez, Mª Pía. 2002. «Más aportaciones para el estudio de la aljama hebrea de la villa de Ágreda». *Espacio, Tiempo y forma. Serie III, Historia Medieval*, 271-85.

Serrano-Piedecasas Fernández, Luis. 2007. «Sistemas islámicos de dominio en los Extrema Durii». En *Espacios de poder y formas sociales en la Edad Media*, editado por Gregorio del Ser Quijano y Iñaki Martín Viso, 277-300. Salamanca: Universidad de Salamanca.

Soler Estrela, Alba. 2009. «La técnica del tapial en las fortificaciones y despoblados de Sharq al-Andalus. Un estudio arquitectónico constructivo». En *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Valencia 21-24 de octubre de 2009*, editado por Santiago Huerta Fernández, Rafael Marín Sánchez, Rafael Soler, y Arturo Zaragozá, 2:1361-70. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Tabales Rodríguez, Miguel Ángel. 2000. «Algunas reflexiones sobre fábricas y cimentaciones sevillanas en el período islámico». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, editado por Amparo Graciani, Santiago Huerta, Enrique Rabasa, y Miguel Ángel Tabales Rodríguez, 2:1077-88. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Taracena Aguirre, Blas. 1934. «Vías romanas del Alto Duero». *Anuario del Cuerpo Facultativo de Archiveros, Bibliotecarios y Arqueólogos* 2: 257-78.

Zamora Canellada, Alonso. 1993. «El castillo de Ayllón (Segovia). Estudio arqueológico e histórico». *Estudios segovianos* 34 (90): 1-531.

Zozaya, Juan. 1984. «Islamic fortifications in Spain. Some aspects». *Papers in Iberian Archaeology*, n.º 193: 636-73.

Zozaya, Juan.1991. «Recientes estudios sobre la arqueología andalusí: la Frontera Media». *Aragón en la Edad Media*, n.º 9: 371-88.

Zozaya, Juan. 1994. «¿Fortificaciones tempranas?» En *Actas del I congreso de Castellología Ibérica*, editado por Áurea de la Morena, Ivette Hinen de Terol, Amador Ruibal, Jorge Jiménez Esteban, Fermín de los Reyes, y Rafael Ardanaz, 71–146. Palencia: Diputación Provincial de Palencia.

Zozaya, Juan, y Philip Banks. 1984. «Excavations in the Caliphal fortress of Gormaz (Soria), 1979-1 981: a summary». *British Archaeological Reports, lnternational Series*, n.º 194: 674-703.

Neveras o pozos de nieve: arquitectura preindustrial en el interior de Alicante

Laura Gilabert Sansalvador
Riccardo Montuori

A partir del siglo XVI se populariza en la península ibérica la venta de la nieve y el hielo, y se forja una importante red comercial alrededor de este producto natural tan efímero. El frío se utilizaba para conservar alimentos, por ejemplo, durante las rutas de transporte de productos perecederos como el pescado o la carne, y también por sus propiedades terapéuticas y medicinales: se requería como anestesia local, para calmar el dolor o como reconstituyente. Además, el hielo se empleaba como refrigerio, pues servía para enfriar bebidas y disponer de agua fresca para afrontar el calor estival. A partir del siglo XIX se utiliza también en la producción de helados (Martínez Tribaldos 2009, 156), una industria muy extendida hasta la actualidad en localidades alicantinas como Ibi o Jijona.

La explotación y distribución comercial de la nieve en la zona de levante se vio favorecida por unas condiciones climáticas especiales. El período comprendido entre finales del siglo XVI y mediados del siglo XIX se ha denominado «la Pequeña Edad de Hielo», pues los estudios paleoclimáticos señalan que en esta época se dieron temperaturas más bajas de lo habitual y un aumento considerable en las precipitaciones, lo que provocó que se registraran copiosas nevadas (Martín Vide 2009).

La zona norte de la provincia de Alicante es una zona montañosa perteneciente al sistema bético, cuyas estribaciones forman varias cadenas paralelas con orientación suroeste-noreste que llegan hasta la costa mediterránea en el entorno del Cabo de la Nao. En estas sierras existen picos de gran altitud como el de Aitana (1.558 m), el Puig Campana (1.406 m) o L'Alt del Montcabrer (1.390 m). En estas zonas altas y montañosas la nieve se acumula en invierno, aunque la suavidad del clima mediterráneo no permite que se conserve hasta la época estival. Por ello, a partir del siglo XVI, con el aumento de la demanda comercial de la nieve, proliferaron en esta zona una extensa red de depósitos donde acumularla y conservarla hasta el verano, cuando el consumo era mayor. La nieve se almacenaba cuidadosamente en las denominadas neveras, pozos o *caves,* y posteriormente se transportaba hasta las poblaciones demandantes para su venta.

En la mitad sur de la Comunidad Valenciana, las áreas de mayor concentración de depósitos de nieve son las sierras de Benicadell, Mariola, Menejador, Aitana, Serrella y Maigmó (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 67). Hoy en día se conservan aún numerosos ejemplos, cuya envergadura muestra la importancia que tuvo el comercio de la nieve. La amplia difusión de esta actividad económica se ha podido documentar además mediante el estudio de las rutas de transporte, las regulaciones establecidas por las distintas administraciones y la existencia de trabajos e impuestos específicos.

Los estudios sobre el comercio de la nieve en las sierras valencianas se inician en el último tercio del siglo pasado con publicaciones como la de F. Vañó (1975), J.M. Segura Martí (1985) o J. Ferre y J.A. Cebrian (1993). En la década de los 80 los autores J.

Cruz Orozco y J.M. Segura Martí empezaron a desarrollar un inventario completo de los depósitos de nieve de la Comunidad Valenciana que publicaron posteriormente en *El comercio de la nieve. La red de pozos de nieve en las tierras valencianas* (Cruz Orozco y Segura Martí 1996). Este trabajo recoge la localización geográfica y los datos más relevantes de 300 depósitos de nieve, e incluye fichas con fotografías, planos y descripciones de aquellos más representativos y mejor conservados. Este catálogo ha sido retomado y ampliado posteriormente para el caso de la provincia de Alicante en la *Guía de los pozos de nieve de la provincia de Alicante* (Vicedo Martínez y Ramírez Gosálvez 2004).

El presente trabajo aborda el estudio constructivo de los depósitos de nieve de las sierras de Mariola y el Menejador, situadas entre las comarcas de La Vall d'Albaida, El Comtat y L'Alcoià, en el límite entre las provincias de Alicante y Valencia. Las neveras de este ámbito geográfico presentan diferentes soluciones constructivas de cubierta cuyo estudio y comparación pueden aportar datos para el conocimiento y la conservación de esta arquitectura preindustrial.

Las neveras o *caves* de las sierras de Mariola y el Menejador

Los depósitos de nieve de esta zona levantina se pueden clasificar en dos tipologías generales. Los más sencillos se denominan ventisqueros o *clots*, son de poca profundidad y no están excavados: se aprovechaba una depresión existente en el terreno para construir muros de poca altura y crear un área de captación que en algunos casos se podría cubrir con materiales perecederos (Cruz Orozco y Segura Martí

núm.	nombre(s) de la nevera	municipio	código 1996	altitud (msnm)	fecha de construcción	diámetro (m)	altura (m)	conserva la cubierta	tipo de cubierta	restaurada
01	Cava de Sant Blai	Bocairent		675	1600-1700	7,70	11,00	C	C+B	2002
02	Nevera del Portell	Bocairent	206	850	s.d.	6,00	4,00	N	s.d.	NO
03	Nevera dels Teularets	Bocairent	205	870	s.d.	9,00	5,00	N	s.d.	NO
04	Cava de Don Miquel	Bocairent	210	1050	1600-1650	14,50	10,20	P	B	NO
05	Cava del Mas dels Arbres	Bocairent	209	970	1600-1650	s.d.	s.d.	N	s.d.	terraplenada
06	Cava Gran (Cavetes de Xàtiva)	Bocairent	207	980	1640-1650	7,45	4,80	N	s.d.	NO
07	Cava de l'Alt de la Codolla	Bocairent	208	1080	1600-1650	8,45	6,20	N	¿B?	NO
08	Cava del Portín o dels Taulellets	Alfafara		1070	1700-1800	10,80	8,50	N	¿A?	NO
09	Cava de les Eres	Agres	211	700	s.d.	7,00	9,94	N	B	derruida
10	Cava de Joan Despuig	Agres	215a	1140	s.d.	6,80	5,60	N	s.d.	NO
11	Cava del Buitre	Agres	215	1220	1696	8,20	7,00	C	B	NO
12	Cava Arquejada o Cava Gran	Agres	214	1220	1600-1650	14,90	12,00	P	A	2015
13	Cava del Teix o Cava de Aznar	Agres	212	1215	1650-1700	6,00	7,00	N	¿B?	NO
14	Cava de l'Habitació o de Aznar	Agres	213	1240	1650-1700	7,00	8,50	P	B	NO
15	Cava del Sesteret del Sapo	Cocentaina	216	1110	s.d.	8,00	6,00	N	s.d.	NO
16	Cava de la font de Sanxo 1	Cocentaina	217	1100	s.d.	6,60	2,80	N	s.d.	NO
17	Cava del Mas d'Altamira	Alcoi		951	s.d.	8,50	5,00	N	s.d.	NO
18	Pou de El Salt o Cava del Cortés	Alcoi	220	720	1827-1851	16,30	12,60	C	C	NO
19	Pou del Canonge o de Moltó	Alcoi	230	1100	1775	7,00	10,50	N	A	NO
20	Cava de Coloma del Carrascar	Alcoi	231	1290	1732	13,00	16,60	P	A → B	NO
21	Pou de l'anouer o de Sirvent	Ibi	232	1190	1600-1700	11,30	12,00	P	B	NO
22	Cava Simarro o Cava Roja	Ibi	233	1230	1750	14,70	16,20	P	A → B	NO
23	Pou del Canyó	Ibi	234	1235	aprox. 1750	9,80	10,30	C	A → B	2008
24	Pou del Barber o de Santa Maria	Ibi	235	1020	1700-1800	7,30	8,00	C	B	¿2019?

s.d.: sin datos / Conserva la cubierta: N (no), P (parcialmente); C (completa)

Tipo de cubierta: A (arcos y entramado de vigas de madera), B (cúpula de mampostería), C (excavada en la roca).

Fuentes: Cruz Orozco y Segura Martí (1996), Vicedo Martínez y Ramírez Gosálvez (2004), Segura Martí (2005), Albuixech Molina (2005).

Tabla 1
Neveras de las sierras de Mariola y el Menejador

1996, 69). La tipología que consideraremos en este estudio es la de las construcciones que sí que presentan un pozo excavado en el terreno. La denominación más usual en el ámbito geográfico de nuestro estudio es la de *cava*. Estas neveras tenían mayor capacidad y en la mayoría de los casos contaban con una cubierta de fábrica, cuya función era proteger y aislar el pozo de la insolación directa, la temperatura exterior y la lluvia, de forma que la nieve se conservara el máximo tiempo posible.

En las sierras de Mariola y el Menejador, ámbito geográfico de este estudio, los inventarios existentes incluyen 24 depósitos de nieve considerados de tipo *cava* por contar o haber contado en su momento con una cubierta de fábrica. En la tabla 1 se recoge, para cada una de estas neveras, información sobre: el término municipal al que pertenecen; la altitud a la que están situadas; la fecha en la que fueron construidas, en muchos casos aproximada; y las dimensiones interiores del depósito, diámetro y profundidad. Estos datos han sido tomados de las publicaciones y los inventarios precedentes (Cruz Orozco y Segura Martí 1996; Vicedo Martínez y Ramírez Gosálvez 2004; Segura Martí 2005; Albuixech Molina 2005; Martí, Gomar y Cervera 2010) y del Inventario General del Patrimonio Cultural Valenciano (2018). En las últimas columnas se ha recogido información sobre el estado de conservación y la tipología constructiva de la cubierta, estableciendo tres sistemas de cubierta (A, B y C) que se definen más adelante. En la última columna se recoge si la nevera ha sido restaurada o intervenida.

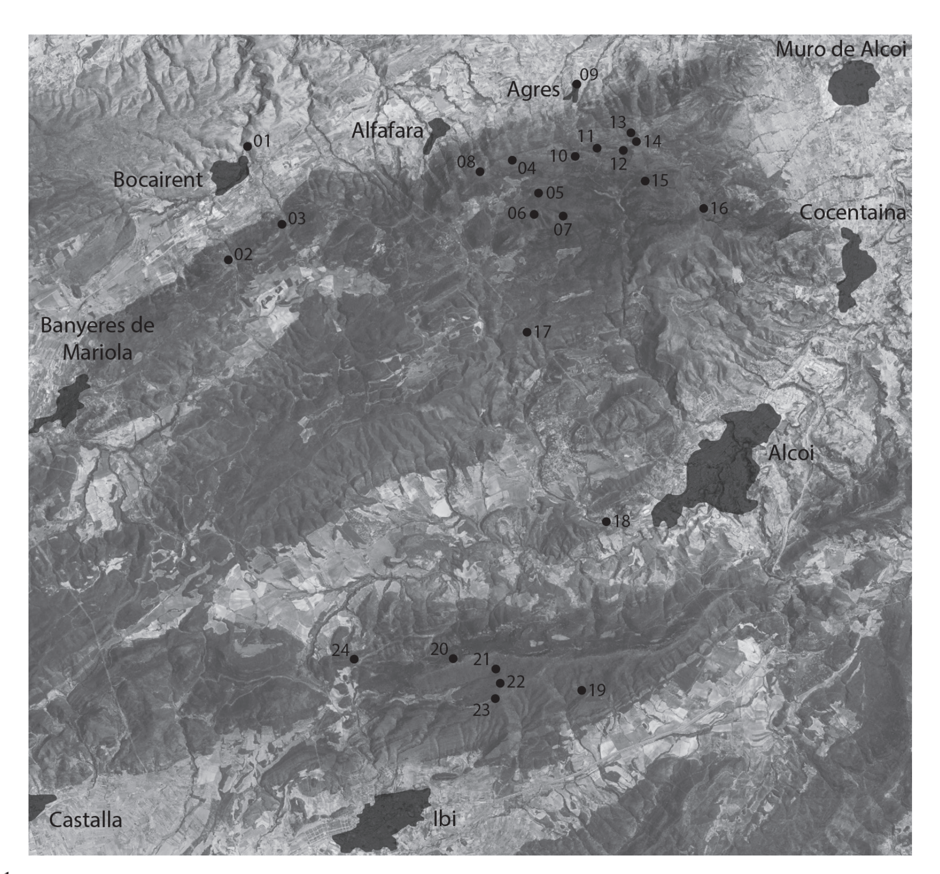


Figura 1
Situación de las neveras de las sierras de Mariola y el Menejador recogidas en la tabla 1. Elaboración propia a partir de la ortofoto tomada del Institut Cartogràfic Valencià

Localización

En la elección de los lugares para la construcción de las cavas entraban en juego varios factores como la altitud, la orientación y las condiciones del terreno. Según Orozco y Segura (1996, 66) existían dos modelos diferenciados de explotación y distribución comercial de la nieve: por un lado, el comercio local o de corta distancia y, por otro lado, el comercio a gran escala, es decir, la red que suministraba nieve a localidades situadas a gran distancia, por ejemplo, en el litoral. Los depósitos destinados al comercio local se situaban cerca de las poblaciones o incluso en el interior del casco urbano. Son ejemplo de ello la derruida Cava de les Eres en Agres (nº 09 en la tabla 1), la Cava de Sant Blai en Bocairent (01) o los pozos del Mas d'Altamira y de El Salt en Alcoi (17 y 18). Los depósitos vinculados al comercio de gran escala suelen ser de mayor tamaño y se sitúan en emplazamientos de gran altitud, donde gracias a las bajas temperaturas se podía disponer de nieve cercana y conservarla durante más tiempo. Así, la mayoría de las cavas estudiadas se sitúan en puntos de más de 1.000 m de altitud sobre el nivel del mar (tabla 1), muchas veces en las cumbres de las sierras (figura 1).

Además de este factor de altitud, el emplazamiento de las cavas estaba asimismo condicionado por la orientación: en muchos casos los depósitos se situaban en umbrías y laderas orientadas al norte para evitar el soleamiento. Sin embargo, también era importante tratar de minimizar las pérdidas de nieve durante el transporte hasta los puntos de venta, por lo que existen depósitos situados en vertientes orientadas al sur, con lo que, a pesar de que el emplazamiento era más soleado, se acortaba la distancia a las poblaciones consumidoras o a las rutas de descenso hacia éstas (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 61-63). Son ejemplos de ello los depósitos de la Sierra del Menejador como la Cava Simarro o el Pou del Canyó (22 y 23, figura 1).

Por último, otro de los factores que determinaba el emplazamiento de las neveras eran las condiciones del terreno. Se solían elegir emplazamientos en laderas y suelos en pendiente para disminuir la excavación y minimizar el material constructivo necesario. En muchos casos se aprovechaban las superficies rocosas para construir pozos parcialmente excavados, y con el material procedente de la propia excavación se construían los muros perimetrales del depósito.

Características constructivas

Las cavas de la zona Mariola-Menejador son depósitos de planta circular construidos sobre una excavación en el terreno. Sobre el pozo se construye un muro de mampostería de gran espesor para garantizar el máximo aislamiento, en el que se abren los huecos de acceso a la nevera mediante arcos rebajados o de medio punto, y sobre el que apoya la cubierta (figura 2).

En la mayoría de los casos se construye una plataforma de contención alrededor de la cava que garantiza la estabilidad de los muros y aumenta el aislamiento térmico del depósito (figura 2). Además, esta plataforma genera una superficie horizontal alrededor del pozo que servía como área de captación y acumulación de la nieve y que permitía acercar al pozo los carruajes y animales de transporte (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 71). En algunos casos aparecen contrafuertes para estabilizar los muros de la parte aérea del depósito o las plataformas de contención. Un caso muy singular en este sentido es la Cava de Don Miquel en Bocairent (04), con una gran

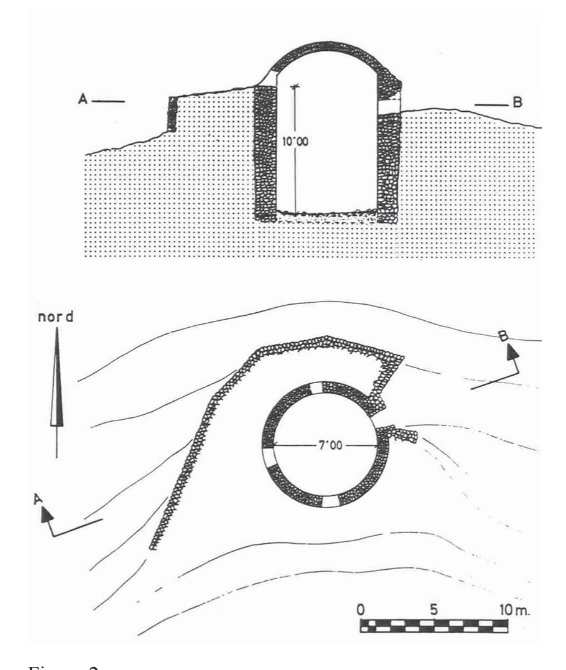


Figura 2
Planta y sección de la Cava de l'Habitació en Agres (Segura 1985, 6)



Figura 3
Plataforma de la Cava de Don Miquel en Bocairent

plataforma de más de 40 m de anchura con gruesos contrafuertes, que le otorgan una imagen de fortificación defensiva (figura 3).

Generalmente los muros perimetrales de las neveras son de mampostería ordinaria de piedra caliza con argamasa de mortero de cal, que se revocaba por la cara interior para aumentar la impermeabilidad del depósito. Sobre estos muros se apoya la cubierta de fábrica, para la que se empleaban principalmente tres soluciones constructivas: la primera de ellas es la de entramado de vigas de madera sobre arcos de sillería (A), la segunda la de cúpula de mampostería (B), y el tercer tipo es el de las cubiertas excavadas en la roca (C), que es menos frecuente y, como veremos, se combina con el tipo B. Estas tres tipologías establecidas se analizan en el siguiente apartado. Los depósitos se protegían frente a la lluvia mediante un revestimiento de teja cerámica, bien apoyado sobre el entramado de las vigas de madera del tipo A, o bien sobre la cúpula de piedra en el tipo B.

Funcionamiento

Cuando se producían las nevadas, los trabajadores recogían la nieve cercana mediante palas y capazos y la acumulaban alrededor de la nevera. La introducción de ésta en el pozo se realizaba a través de los huecos de acceso en los muros. Este trabajo era una labor más especializada, pues en el interior del depósito debía colocarse una capa de material vegetal, normalmente paja o ramas, para aislar la nieve del fondo y de las paredes (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 54). En el interior, los *nevaters* compactaban la nieve por tongadas mediante mazos de madera para aumentar su densidad. Entre las sucesivas tongadas se intercalaban capas de paja para aumentar su aislamiento y prolongar su conservación hasta la época de extracción (figura 4).

El agua del deshielo que se producía en la parte inferior de la nevera era conducida, mediante canales excavados en la solera del pozo, a un túnel de desagüe que la conducía al exterior. En algunas cavas como la de Sant Blai (01) o la de Don Miquel (04) este túnel era transitable, lo que facilitaba su mantenimiento.

En una nevera bien construida, la nieve, almacenada cuidadosamente, podía conservarse durante varias temporadas. En el momento de extraerla se tenía que cortar en bloques mediante cuñas o sierras. En la pared interior del depósito, sobre el dintel de uno o varios de los accesos, se colocaba una vigueta de madera o metálica que sostenía una polea empleada para extraer la nieve mediante cuerdas y capazos. Protegida con paja y mantas, la nieve se transportaba, preferiblemente cuando el sol ya había bajado, hasta las localidades consumidoras en portadoras de madera acarreadas por animales de tiro y carros (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 55).

El establecimiento de esta tipología arquitectónica de nevera y la gran proliferación de estas construcciones muestran la gran difusión y el calado que tuvo esta actividad económica del comercio de la nieve (Ramón Burillo y Ramírez Piqueras 2009, 89). En



Figura 4.
Proceso de recogida y almacenamiento de la nieve en la Cava Gran de Agres (Museo Arqueológico de Alicante)

las proximidades de las neveras suelen aparecer evidencias de antiguas edificaciones auxiliares para el refugio de los trabajadores y el almacenamiento de herramientas y útiles. En algunos casos han sido recuperadas, como la *casa dels nevaters* próxima a la Cava de l'Habitació de Agres (14), reutilizada como refugio y centro excursionista, pero la mayoría se encuentran en ruinas. Son casos singulares en este sentido la Cava Gran de Agres (12), en la que se aprovecha como estancia el mismo túnel de acceso a la cava a través de la plataforma (figura 5), o la Cava de Don Miquel (04, figura 3), que albergaba un refugio con chimenea en el interior de la propia plataforma del depósito.

Tipos de cubierta de las neveras

De las 24 neveras estudiadas, sólo cinco conservan la cubierta completa y seis la conservan parcialmente (tabla 1). En dieciséis neveras se ha podido determinar el tipo de cubierta que presentan según la siguiente clasificación:

A) Entramado de vigas de madera sobre arcos de sillería

El primero de los sistemas es el de las cubiertas formadas por un entramado de vigas de madera que apoyaban sobre dos, o en algún caso tres, arcos de sillería cruzados.



Figura 5
Cava Gran de Agres

El ejemplo más representativo y conocido de esta tipología es el de la Cava Gran de Agres, icono de la Serra de Mariola, también denominada Cava Arquejada (12). Este gran depósito de casi 15 m de diámetro se corona con tres arcos apuntados que se cruzan y en cuyo remate apoya un pináculo. En el punto medio de la altura de la cubierta aparece, sobre cada uno de los arcos, una ménsula de piedra sobre la que apoyaban las vigas de madera principales (figura 6). Éstas sostenían el entramado de travesaños y el revestimiento de teja cerámica de seis faldones que se conservaba aún a principios del siglo XX (figura 7). En este caso el perímetro exterior de los muros del depósito es de planta hexagonal: esta solución facilita el apoyo de los faldones de la cubierta sobre los muros, y además otorga más espesor a la fábrica en las zonas de los estribos de los arcos (figura 5).

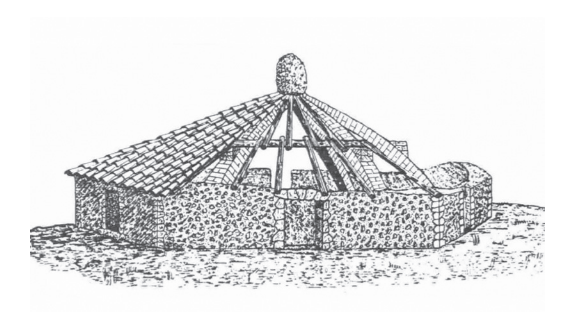


Figura 6
Reconstrucción hipotética de la cubierta de la Cava Gran de Agres (Segura Martí 1985, 8)

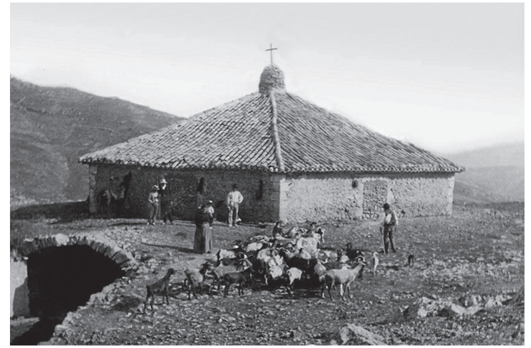


Figura 7
La Cava Gran de Agres en torno al 1920 (Familia de Pascual Revert, Museo Arqueológico de Alicante)

Existen numerosas neveras con cubiertas de tipo A en la provincia de Alicante. Aunque, excepto en el caso de Agres, los arcos no se han conservado, permanecen los arranques empotrados en los muros del depósito. Este apoyo se realiza en una cota de entre dos y tres metros inferior a la de la superficie de la plataforma de contención, de forma que se puedan absorber los empujes laterales de los arcos (figura 8). Según J. Cruz Orozco y J.M. Segura Martí (1996, 70-72), el sistema de arcos y vigas de madera sería el modelo de cubierta más antiguo, y a partir del siglo XVII se prefiere el sistema de cúpula de mampostería.

B) Cúpula de mampostería

La segunda tipología de cubierta y la más común en la muestra considerada es la de cúpula de mampostería. Se construía por aproximación de hiladas de lajas o piedras de poco espesor, de forma que avanzan progresivamente hacia el interior hasta clausurar el espacio, generando lo que se conoce como una falsa cúpula, normalmente de sección rebajada (figura 9).



Figura 8
Interior de la Cava Gran de Agres y acceso actual al interior del depósito



Figura 9
Interior de la Cava de Don Miquel en Bocairent

A diferencia de la tipología anterior, la construcción de este sistema no necesitaría cimbras, por lo que es un modelo constructivo más simple y que necesita menos recursos (Ramón Burillo y Ramírez Piqueras 2009, 90). En la provincia se conservan varios pozos con la cubierta de cúpula de mampostería completa o prácticamente completa, de lo que se puede deducir que es un sistema más duradero y resistente. Esto fue ya advertido por los constructores de la época, que en algunos casos sustituyeron las primitivas cubiertas de arcos cruzados por falsas cúpulas, como veremos en el siguiente apartado. En nuestra muestra, son ejemplos de neveras con cubierta de cúpula bien conservada la Cava de l'Habitació (14) y la Cava del Buitre (11) en Agres (figura 10), y los Pozos del Canyó y del Barber en Ibi (23 y 24). En estos dos últimos casos se ha conservado parte del revestimiento de teja cerámica original.

C) Excavada en la roca

La tercera tipología constructiva es la de las cubiertas excavadas. Cuando el terreno lo permitía, el pozo se excavaba en la roca, lo que favorecía el aislamiento y la conservación de la nieve.

La única nevera identificada hasta el momento en el territorio valenciano que está íntegramente excavada en la roca es la Cava de Cortés o Pou del Salt,



Figura 10
Interior de la Cava del Buitre en Agres

en Alcoi (18). Se trata de un gran pozo de planta circular y bóveda semiesférica excavado en un terreno de tobas calcáreas (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 124). Sobre el pozo y alrededor de la apertura cenital de éste se ha construido una vivienda.

Otro caso es la Cava de Sant Blai (01), situada en una ladera con pendiente en el lado de la umbría del barrio medieval de Bocairent. En esta nevera, parte del depósito y casi la mitad de la cubierta están excavados en la roca (Domínguez Calabuig 2005). La cubierta se completa con una media cúpula de mampostería, por lo que en este caso se combinan los tipos de cubierta B y C (figura 11).

Cambios en el sistema de cubierta

En algunas cavas de la muestra, existen evidencias de que, tras el colapso de la cubierta de arcos cruzados, se decidió cambiar de sistema y cubrir el depósito con una cúpula de mampostería. La Cava de Coloma en Alcoi (20) es un buen ejemplo de ello (figura 12). En este depósito se observan los cuatro estribos de los dos arcos cruzados que sostendrían una primitiva cubierta de vigas de madera y teja cerámica. Al hundirse ésta en 1867 como consecuencia de una copiosa nevada, se construyó una cúpula de mampostería por aproximación de hiladas, que se conservó hasta la década de los 60 (Vicedo Martínez y Ramírez Gosálvez 2004, 245; Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 130). El arranque de la falsa cúpula, que aún se conserva, se produce sobre dos hiladas de ladrillo macizo que marcan el inicio de la cubierta construida con posterioridad.

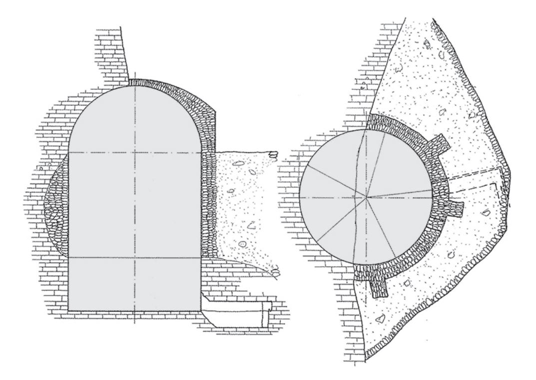


Figura 11
Planta y sección de la Cava de Sant Blai en Bocairent (Doménech 1997, 65)



Figura 12
Cava de Coloma en Alcoi

Este cambio en el sistema de cubierta se produce también en la Cava Simarro (22), en Alcoi, y en el Pou del Canyó de Ibi (23). Este último, restaurado en 2008, conserva aún completa la cúpula de mampostería y parte del revestimiento original de teja cerámica (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 134).

Evidencias de este cambio de sistema de cubierta aparecen, además de en estas tres cavas de la Sierra del Menejador, en el Pou del Rentonar, una nevera muy bien conservada perteneciente al municipio de la Torre de les Maçanes y a la vecina Sierra de la Carrasqueta, al sur del Menejador. Es por ello que podemos decir que existen en este entorno una serie de casos de neveras que se concibieron inicialmente con cubierta de arcos y posteriormente, tras el colapso de éstos, se cubrieron con cúpula de mampostería, lo que demuestra que los constructores de la época habían advertido las ventajas y la conveniencia del segundo sistema.

Abandono y decadencia

Con el fin de la Pequeña Edad de Hielo y sobre todo con el desarrollo de la energía eléctrica y la tecnología frigorífica, a principios del siglo XX los depósitos de nieve cayeron en desuso. La obsolescencia de las neveras condujo en muchos casos al desmantelamiento de las cubiertas de teja para su reutilización en otros edificios.

Está documentado que las tejas de la Cava Gran de Agres (figura 7) sirvieron para reparar el tejado del Santuari de la Mare de Déu d'Agres, y que las vigas de madera que sustentaban la techumbre se utilizaron en una casa de la misma localidad (Cruz Orozco y Segura Martí 1996, 71). Cuando se retiran las tejas se acelera el proceso de degradación de la cubierta: con la progresiva penetración del agua de lluvia, la estructura colapsa y se derrumba. En la actualidad, la vegetación ha inundado los pozos, y en algunos casos apenas pueden distinguirse.

Durante el siglo XX algunas neveras fueron terraplenadas, como la Cava del Mas dels Arbres de Bocairent (05), o derruidas, como en el caso de la Cava de les Eres (09), situada en el núcleo urbano de Agres. Recientemente se están llevando a cabo acciones de restauración y puesta en valor de algunas neveras, pero la mayoría se encuentran abandonadas y en grave riesgo de conservación.

Conclusiones

Las neveras son un interesante ejemplo de la arquitectura preindustrial y un patrimonio cultural con destacados valores históricos, etnológicos y arquitectónicos. Son evidencia de la importancia que tuvo en el pasado el comercio de la nieve y en la actualidad se han convertido en iconos característicos del paisaje mediterráneo de alta montaña, generando un activo y sostenible turismo de interior.

El trabajo de inventario y catalogación resulta fundamental para la identificación, protección y conservación de los abundantes pozos de nieve que aún existen en las sierras valencianas. Su estudio arquitectónico y constructivo es importante para avanzar en el conocimiento sobre la técnica de estas construcciones y poder plantear adecuados criterios de conservación y restauración. Cuando pueda realizarse una intervención en una cava, será imprescindible la detallada documentación del derrumbe en el interior del pozo, pues su estudio aportará relevantes datos sobre el sistema constructivo de la cubierta derruida.

El estudio de la muestra de pozos seleccionada nos ha permitido establecer una clasificación de los distintos sistemas de cubierta de las neveras, así como comprender la secuencia constructiva de algunos casos en los que aparecen evidencias de dos tipos de cubiertas distintos. De cara al futuro, se pretende ampliar este estudio a un mayor número de depósitos, para poder aportar más datos sobre las técnicas constructivas empleadas en el patrimonio arquitectónico del comercio de la nieve.

Agradecimientos

Los autores agradecen expresamente el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad de España a través de la financiación del programa de Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores (BES-2015-071296), así como de la Universitat Politècnica de València a través del Programa de Ayudas de Investigación y Desarrollo (PAID-01-17) para la formación de personal investigador, que han contribuido de forma determinante a hacer posibles las investigaciones y la obtención de los resultados que se exponen en esta publicación.

Lista de referencias

Albuixech Molina, M. 2005. Cavas de la Sierra Mariola. En *Programa de las Fiestas de San Blás*, 108-115. Bocairent: Ayuntamiento de Bocairent.

Cruz Orozco, J. y J.M. Segura Martí. 1996. *El comercio de la nieve: la red de pozos de nieve en las tierras valencianas*. Valencia: Dirección General de Patrimonio Artístico.

Doménech Domínguez, R. 1997. Alcavor y Cava Sanda L'Esvaraora (II). En *Programa de San Agustín de Bocairent*, 64-68. Bocairent: Ayuntamiento de Bocairent.

Domínguez Calabuig, M. 2005. La rehabilitación de la cava de Sant Blai de Bocairent. En *I Jornades del Parc Natural de la Serra de Mariola. Patrimoni cultural: arquitectura rural*, 51-56. Alcoi: Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana.

Ferre Puerto, J. y J.A. Cebrian Molina. 1993. L'explotació comercial de les caves de neu a la Serra Mariola. SS. XVIII-XIX. *Alba. Revista d'estudis comarcals d'Ontinyent i la Vall d'Albaida*, 8: 9-37.

Martí, Ó., D. Gomar y V. Cervera. 2010. Neveres de gel al País Valencià. www.auntirdepedra.com [3 de marzo de 2019].

Martín Vide, J. 2009. El marco climático del moderno comercio del frío. En *El comerç del fred. Actes del II Congrés Internacional al voltant de la utilització tradicional del gel i de la neu naturals,* editado por J. Cruz Orozco, 39-42. Valencia: Museu Valencià d'Entnologia, Diputació de València.

Martínez Tribaldos, M.J. 2009. Ibi, centro productor y distribuidor de nieve. Aportaciones del archivo municipal. En *El comerç del fred. Actes del II Congrés Internacional al voltant de la utilització tradicional del gel i de la neu naturals,* editado por J. Cruz Orozco, 155-162. Valencia: Museu Valencià d'Entnologia, Diputació de València.

Ramón Burillo, J.A. y J. Ramírez Piqueras. 2009. Los pozos de nieve: técnicas y modelos constructivos. En *El comerç del fred. Actes del II Congrés Internacional al voltant de la utilització tradicional del gel i de la neu naturals,* editado por J. Cruz Orozco, 87-94. Valencia: Museu Valencià d'Entnologia, Diputació de València.

Segura Martí, J.M. 1985. La industria de la nieve en las montañas alicantinas. *Narria. Estudios de artes y costumbres populares*, 37-38: 2-11.

Segura Martí, J.M. 2005. Les caves o pous de neu al Parc Natural de la Serra de Mariola. *I Jornades del Parc Natural de la Serra de Mariola. Patrimoni cultural: arquitectura rural*, 37-50. Alcoi: Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana.

V.V.A.A. 2018. Inventario General del Patrimonio Cultural Valenciano. www.ceice.gva.es [10 de marzo de 2019].

Vañó, F. 1975. La Sierra Mariola y el abasto de la nieve. *Revista Moros i Cristians 1975.* Bocairent

Vicedo Martínez, M. y J. Ramírez Gosálvez. 2004. *Guía de los pozos de nieve de la provincia de Alicante*. Alicante: Diputación de Alicante.

La forma de la piedra, la forma del poder. La génesis de un señorío territorial en el este de la Toscana a través de la arqueología de la arquitectura: el caso de los Marchiones en el Val di Chio de Arezzo entre los siglos XI y XII

Fabio Giovannini

Hace quince años, se inició un proyecto de investigación arqueológica cuyo objetivo científico principal era el conocimiento de la compleja historia arquitectónica y urbanística del castillo de Montecchio Vesponi, localización de gran impacto visual a lo largo de la frontera oriental de la Val di Chiana, un área territorial de la Toscana interior, a pocos kilómetros al sur de la ciudad de Arezzo (Molinari, Giovannini y Orecchioni 2012).

Unos años más tarde el proyecto encontró su evolución natural dentro de una investigación doctoral sobre la dinámica de la poblamiento rural y de las estructuras de poder que se desarrollaron durante la época medieval en esta misma porción de territorio (Giovannini, 2016). Un estudio que ha tenido como objetivo conocer la complejidad de las formas de asentamiento a través del análisis de algunas áreas de muestra.[1]

Actualmente los datos derivados de este trabajo se han integrado en el conjunto de datos del proyecto ERC *Advanced Grant Petrifying Wealth. The Southern European Shift to Masonry as Collective Investment in Identity, c.1050-1300.*[2]

En este artículo[3] se propone un ejemplo de estudio histórico desarrollado a través del análisis de datos arquitectónicos de acuerdo con la metodología arqueológica y su interacción con las fuentes históricas.

La realización de un edificio simple o la planificación de un asentamiento completo son episodios de enorme impacto en cualquier época histórica. Todo tiene su origen a partir de una única acción constructiva que marca el comienzo de una actividad de construcción cuyos motivos son heterogéneos, pero siempre representan el reflejo del contexto en el que ocurren. Un edificio, junto con el espacio en el que se construye, es a menudo la manifestación material con la que un solo individuo, una familia o una comunidad entera pueden expresar su identidad.

El período en torno a 1100 parece corresponder a una redefinición general de las estructuras sociales, económicas y políticas de la campiña del centro-norte de Italia. Es un período que aparece caracterizado por fases alternas de fragmentación y recomposición de las estructuras de poder; son años en que los órdenes públicos no limitan la autonomía de los poderes señoriales y, al mismo tiempo, se puede observar una creciente dificultad por parte de los mismos señores para controlar a sus heterogéneos grupos clientelares.

En este contexto, los actos de la familia de los *Marchiones* parecen ser paradigmáticos. Fue en estas fechas cuando comenzaron a ejercer prerrogativas de poder alternativo y en conflictivo con la jurisdicción episcopal e imperial a través de numerosos castillos diseminados a lo largo de los Apeninos.

El territorio del Val di Chio

La presente contribución se basa en las informaciones recopiladas dentro del territorio del *comune* de Castiglion Fiorentino, un área de muestra que ofre-

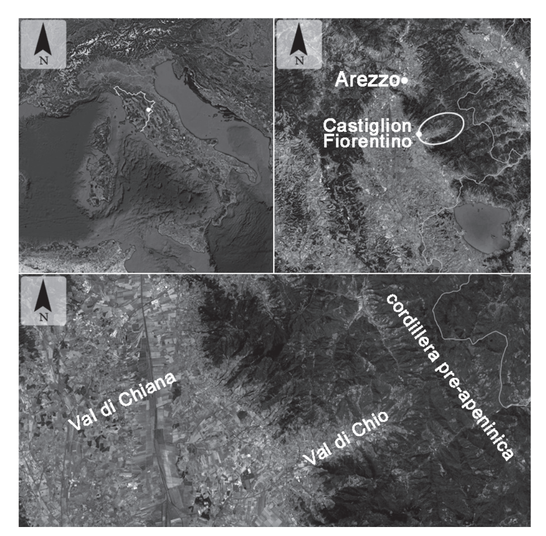


Figura 1
Localización del área de estudio (de Google Earth, modificado)

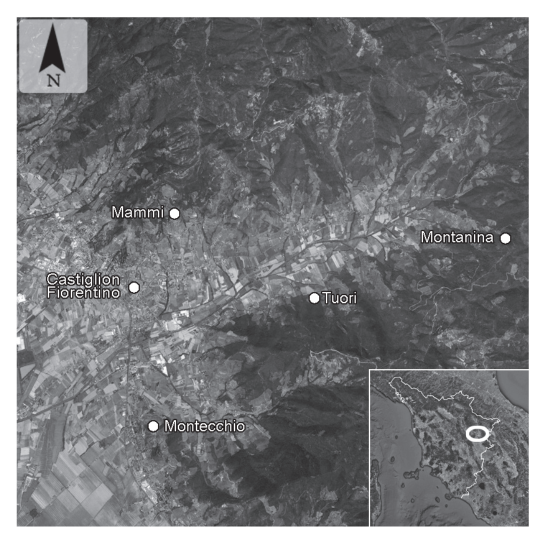


Figura 2
El Val di Chio, límites administrativos y localización de los sitios (de Google Earth, modificado)

ce información interpretativa útil para los propósitos de comprender las dinámicas sociales y del asentamiento dentro del marco cronológico examinado (figura 1).

La zona oriental del territorio *castiglionese* consiste en un área de fondo de valle que se eleva a una altitud media de 250 m s.n.m. Las alturas más altas y más profundas definen el borde oriental de este distrito administrativo; es la dorsal montañosa previa de los Apeninos, más allá de la cual se ubica el Alto Val Tiberino. La parte montañosa del lado *castiglionese* presenta grandes espacios abiertos en altura donde los asentamientos y las vías de comunicación son casi nulos; al contrario, moviéndose hacia el oeste, se encuentra el gran espacio plano del Val di Chio.

El valle se desarrolla desde el noreste, siguiendo las laderas de la cordillera previa a los Apeninos, a una altitud de 300 m s.n.m. Tiene una anchura media de aproximadamente 1.5 km y se extiende durante unos 5 km hacia el suroeste. El margen occidental del Val di Chio está delimitado por dos colinas, bastiones naturales de control que dan acceso al cercano y mas amplio Val di Chiana. En estas alturas se encuentran los centros de Castiglion Fiorentino, más al norte, y Montecchio Vesponi, hacia el sur (figura 2).

La metodología aplicada

La primera fase de las actividades de investigación preveía una clasificación inicial del contexto territorial según los parámetros típicos de la arqueología del paisaje (Leonardi 1992). Esta fase del trabajo se centró en la recopilación de datos territoriales y la realización de una base de datos sobre una plataforma SIG.

El siguiente paso fue la puesta en marcha del proceso de identificación, catalogación y análisis de las *actividades* arquitectónicas en el territorio.

A raíz de su identificación, se inició el proceso de medición instrumental de los edificios. El método se basó en la realización de levantamientos fotogramétricos de alta precisión a través de la captura de imágenes fotográficas digitales y su posterior procesamiento a través de software específico[4].

La investigación se organizó jerárquicamente a partir de la unidad de referencia más grande hasta llegar a la más pequeña, siguiendo una metodología plenamente consolidada en el estudio de los edificios históricos (Brogiolo 1988).

Como consecuencia del estudio sistemático de los sitios seleccionados, se identificaron todos aquellos edificios en los que, incluso parcialmente, eran legix-

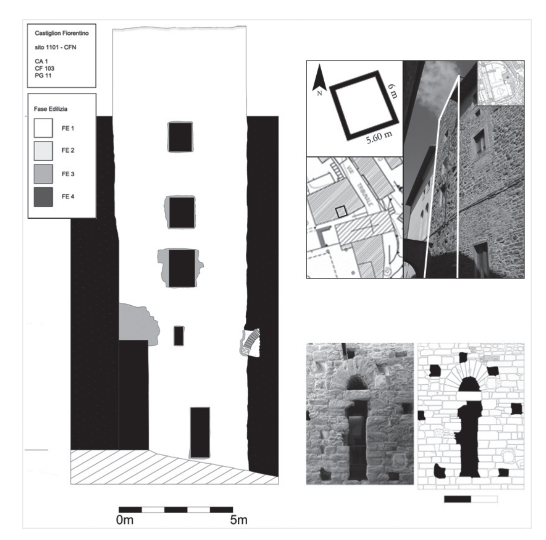


Figura 3
Ejemplo de análisis de la torre Castiglion Fiorentino

bles secuencias estratigráficas de los paramentos medievales.

Una vez que se identificó el edificio se registraron las Unidades Estratigráficas Murarías (UEM) de los lienzos aún visibles.

Una parte de la investigación también se ha centrado en las características de los vanos, ya que pueden constituir elementos discriminatorios para la definición de una tipología de construcción, así como una cronología estilística.

Un paso complementario al análisis de las características de los vanos fue el examen de las técnicas constructivas. Se utilizó el modelo básico para la clasificación sistemática de las técnicas de mampostería posclásicas propuestas por Parenti (1988). El proceso se basó esencialmente en el estudio de las superficies externas de la mampostería. Se ha analizado igualmente el tipo de material utilizado para la construcción y, a pesar de las numerosas variedades de los tipos de piedras, se ha podido clasificar en grandes conjuntos.

Posteriormente, el estudio se centró en la procedencia del material y las consiguientes técnicas de extracción o recuperación (Cagnana 2000).

Una vez que se identificó el origen del material de construcción, la investigación se centró en el grado de procesamiento y acabado de las piedras. En lo que se refiere al acabado, se ha analizado el grado y las herramientas utilizadas, especificando también las dimensiones de estas basándose en la medición de las marcas dejadas en las superficies.

Las modalidades de mampostería fueron extremadamente importantes para una distinción tipológica de los diferentes muros (Parenti 1988, 290-96). En cuanto al examen de los aglomerantes, se realizó un estudio macroscópico basado en el tipo, en la elección de los agregados, en el grado de adhesión con el material de construcción y, finalmente, en el color. Otro parámetro para el análisis de las técnicas de albañilería fue la medición de los elementos líticos.

El análisis de las arquitecturas

A través de la prospección de los sitios del territorio adyacente a Val di Chio, se identificaron una serie de edificaciones en piedra que se remontan al período comprendido entre los siglos XI y XII.

Desde un punto de vista tipológico, se trata de estructuras turriformes con un perímetro limitado y un considerable desarrollo vertical. Se han identificado tres edificios con una superficie habitable aproximadamente entre los 9 m^2 y los 15 m^2. Los muros perimetrales tienen un espesor que varía de 0.70 m hasta 1.20 m (figura 3). La presencia de vanos es muy esporádica y está representada por pequeños accesos estrechos, siempre situados unos metros por encima del nivel del suelo. No se han detectado evidencias de aperturas a nivel de la superficie, al menos en los lienzos visibles.

Las estructuras son atribuibles a una arquitectura de tipo militar, sin excluir completamente su uso como vivienda.

Los edificios están ubicados en la parte superior de los centros castrales, espacios a menudo relacionados con la superficie del desarrollo inicial del asentamiento fortificado de época medieval. En el área de Val di Chio hay ejemplos en Castiglion Fiorentino, Montecchio y Tuori (figura 4).

Es posible proponer una datación de estos edificios por comparación tipológica con otras estructuras de las que se conoce la cronología de su construcción.

En la zona rural de la Toscana este tipo de edificio parece estar bastante extendido y reconocido arqueológicamente. Se puede hacer un primer ejemplo con la torre de Rocca San Silvestro, cuya construcción se




Figura 4
La torre de Castiglion Fiorentino (izquierda) y la torre de Montecchio (derecha)

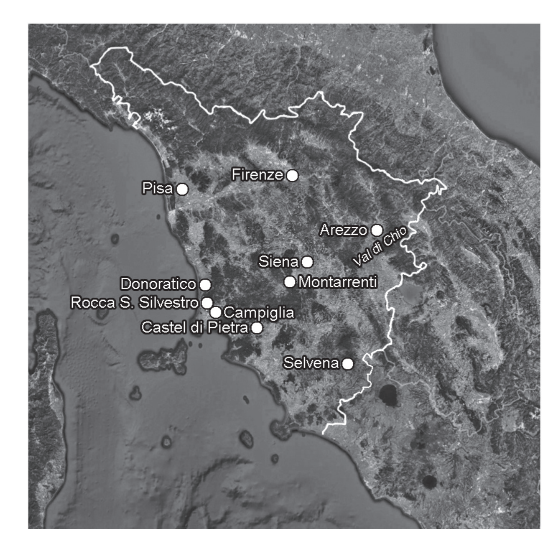


Figura 5
Localización de algunos sitios en la Toscana donde se certifica el tipo de torre en cuestión (de Google Earth, modificado)

remonta al período comprendido entre finales del siglo XI y los primeros años del siglo siguiente (Bianchi 1995, 365). Otro caso de comparación se puede reconocer en la torre de Donoratico, una fábrica con características arquitectónicas muy similares a las que se encuentran en los sitios investigados y cronológicamente contextualizada en las últimas décadas del siglo XII (Bianchi y Francovich 2000).

En el entorno urbano hay numerosas referencias en la cercana ciudad de Arezzo, donde incluso ha sido posible identificar y clasificar una serie de edificios turriformes de forma cuadrada, escasez de vanos y limitada superficie interna; estructuras para las cuales se propuso una datación del siglo XII (Mini 2009, 117-22). Tanto la ciudad de Florencia (Redi 1989, 98) como la de Pisa (Redi 1991, 200-02) conservan estructuras atribuidas a los siglos XI-XII caracterizadas por una limitada planimetría casi cuadrada, paredes continuas y limitada presencia de vanos (figura 5).

En el contexto extra-regional, encontramos evidencia en el área del Lazio, donde también se han recuperado restos arquitectónicos que se distinguen por un diseño reducido de unos pocos metros cuadrados y una limitada cantidad de vanos al exterior (De Minicis 2001, 10-11).

Confirmando de esta datación, en la torre de Montecchio y en la de Castiglion Fiorentino fue posible identificar la realización de mamposterías que utilizaron elementos regulares de piedra trabajadas con protuberancias *(bugne)* alternados con bloques de piedra cuadrados *(conci);* técnica conocida como *'bugnato rustico sparzo'* y que ha sido reconocida en estructuras que se datan a los siglos XI-XII (De Minicis, 1999, 151) (figura 6).

La tipología de mampostería se caracteriza por el uso de elementos de piedra arenisca con un ancho medio que varía entre 0.55 m y 0.90 m y alturas entre

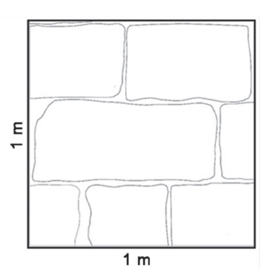



Figura 6
Muestra de muralla realizada a través de la técnica del "bugnato rustico sparzo"

0.25 m y 0.40 m. Las piedras tienen un procesamiento muy cuidadoso, con una cuadratura precisa, faltando a veces una perfecta perpendicularidad de las esquinas. Las superficies están acabadas con una herramienta de punta mediana grande.

La disposición de las piedras presenta una organización de los bloques en hiladas horizontales, paralelas entre sí. Las juntas tienen un tamaño regular, que varía entre 0.01 m y 0.02 m, dato que determina la casi ausencia de cuñas, las cuales pueden ser útiles para corregir la tendencia de las filas; esta característica es consecuencia del procesamiento preciso de los sillares. En algunos casos, se puede documentar el uso de un mortero muy resistente.

Las características de esta técnica de albañilería presuponen un complejo ciclo de producción: diferentes conocimientos técnicos y diferentes especializaciones parecen haber intervenido dentro del sitio de construcción. En la base de la producción debieron haber trabajado canteros profesionales dedicados al procesamiento de los sillares. La mampostería parece haber sido obra de albañiles provistos de una buena técnica. Una hipótesis, ya encontrada en otros contextos, nos haría pensar en una mano de obra cualificada, que pertenece al mismo grupo de trabajo que los maestros canteros (Bianchi 1995, 1996).

El mismo tipo de mampostería se ha identificado en las mismas tipologías de edificios de la ciudad de Arezzo mencionadas anteriormente, método de construcción para el que era necesario un cierto nivel de especialización por parte de los trabajadores empleados en la obra. Estos factores podrían llevar a la hipótesis de la presencia de trabajadores de piedra itinerantes en el área de Arezzo, quizás ya durante el XI y con más probabilidad en el siglo XII (Mini, 2009, 122).

Para completar el marco de la evidencia material de este período, debe recordarse que las prospecciones han permitido identificar también los testimonios de algunos recintos defensivos en piedra.

En la parte alta de la ciudad de Castiglion Fiorentino fue posible identificar los restos de la primera muralla de piedra de época medieval (figura 7). Se trata de un muro de defensa que debía presentar una forma seudo-rectangular, con una orientación ligeramente despachada hacia el noroeste y con forma curvilínea en la parte noreste del circuito, características susceptibles de ser relacionadas con la evolución orográfica natural de la colina. El muro debió contar con un perímetro de 400 m, con el lado este recto de unos 130 m, el lado sur desplazado hacia el norte con una extensión de 80 m, el lado oeste más arqueado con una extensión de unos 120 m y el resto de la parte norte que se iba a cerrar perpendicularmente en la esquina noroeste. La estructura debía tener gruesas murallas de un espesor medio de aproximadamente 1.20 m que cerraban una superficie interna de aproximadamente 8500 m^2. La construcción del muro de defensa puede datarse entre la mitad del XI y el siglo XII (Giovannini 2016, 95-104).

Algunas estructuras en piedra atribuibles a un muro defensivo también fueron reconocidas en la parte sur de Mammi (figura 8). Estos son los fragmentos de una muralla defensiva, caracterizada por un espesor de aproximadamente 1.60 m, cuyos tramos principales conservados alcanzan una altura máxima de aproximadamente 4.50 m. En la parte sudoeste del muro perimetral se encuentran probables evidencias materiales de una jamba, tal vez atribuible a una puerta de acceso al interior de los muros del castillo. La estructura se conserva para una altura de aproximadamente 3.40 m y consta de grandes elementos cuadrados de arenisca, regularmente yuxtapuestos. El estudio de la técnica de albañilería es un elemento diagnóstico para proponer una datación de

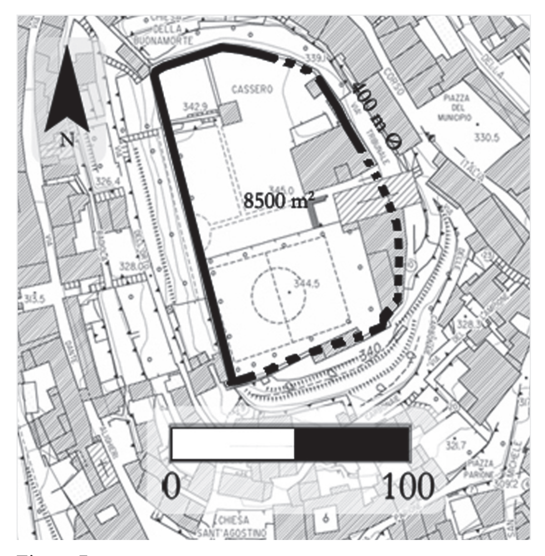


Figura 7
Castiglion Fiorentino: reconstrucción del muro de defensa de los siglos mediad XI-XII



Figura 8
Restos del muro de defensa de Mammi

la estructura. Muy similar a la arquitectura defensiva de los muros de Castiglion Fiorentino antes mencionados, y en analogía con esto también en lo que respecta al desarrollo dimensional, la estructura podría ubicarse cronológicamente hasta el siglo XII, sin cerrar la posibilidad de retroceder hasta la segunda mitad del siglo anterior (Giovannini 2016, 307-09).

La fortaleza de Montanina consistía en un muro de defensa poligonal, aunque parcialmente redondeado, con toda probabilidad para seguir la forma natural de la colina (figura 9). El perímetro de las murallas debía ser de unos 185 m; la superficie interna de poco más de 1000 m^2. En base a lo encontrado en la prospección, en el centro de la parte suroeste de los muros del castillo se encontraba la torre principal, debajo de la cual también estaba la puerta de acceso al interior del asentamiento. Actualmente se puede reconocer solo el desarrollo perimetral de esta estructura, de forma rectangular, con muros de espesor de 1.5 m y las porciones de dos partes angulares. Todavía es posible observar los restos del arco abovedado y el acceso entre el interior y el exterior de la torre. La puerta tenía un ancho de poco más de 2 m y se articulaba con un complejo sistema de cierre y defensa desde arriba. Es posible identificar un arco de piedra de medio punto rebajado de 1.95 m de espesor, una muesca probablemente creada para levantar y bajar una puerta, un espacio interno de aproximadamente 1.80 m de ancho y una serie de arcos que probablemente estén relacionados con un sistema para cerrar y defender la entrada. Al este debía existir una segunda torre. Esta última, que también era saliente con respecto a la posición de la muralla, tenía que tener un plano rectangular de dimensiones aproximadas de 6 m por 1.80 m. Estas estructuras han provisto el uso de piedras de arenisca desbastadas, colocadas en cursos sub-horizontales, con juntas de espesor irregular y el uso de abundante mortero blanco como aglutinante. Se nota una continuidad constructiva entre los tramos de la muralla defensiva y las estructuras turriformes y una analogía de la mampostería utilizada. Aquí se reconocen muros caracterizados por una técnica de construcción que utiliza piedras de arenisca ligeramente desbastadas, mezcladas con otros elementos líticos simplemente divididos y con un núcleo interior con materiales disgregados. Las dimensiones de las piedras son muy variables, pasando de fragmentos medianos-pequeños, funcionales a la regularización de la mampostería, a elementos aproximadamente cuadrado de 0.40 m - 0.50 m. La disposición de los componentes es en lineas sub-horizontales y con juntas con dimensiones no homogéneas, que van desde 0.01 m hasta 0.035 m. En gene-

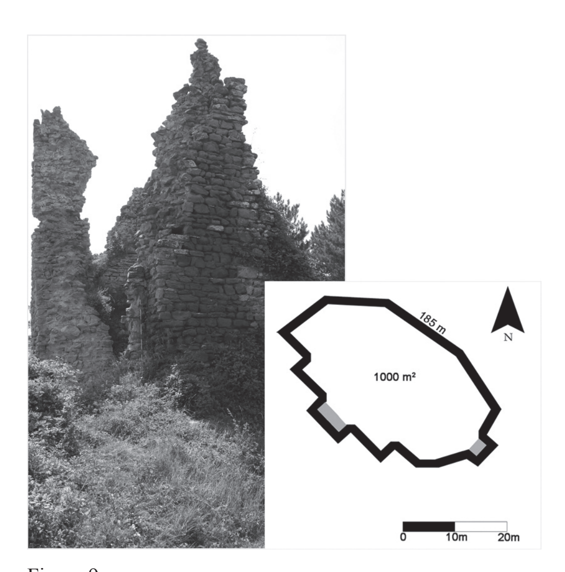


Figura 9
Rocca Montanina: plano reconstructivo del desarrollo de la muralla del castillo y restos de la torre.

ral, estas características tecnológicas orientan la datación de estas estructuras a un período comprendido entre la segunda mitad de los siglos XI y XII (Giovannini 2016, 315-18).

La historia a través de los edificios

La historia derivada de los materiales arquitectónicos nos habla de un territorio que al menos desde mediados del siglo XI se caracteriza por la presencia de algunos asentamientos fortificados de tamaño medio-pequeño. Estos son castillos con extensiones menores a 1 o 2 hectáreas y algunas veces defendidos por muros de piedra. Estos sitios probablemente asumieron de forma progresiva la función de centro de control sobre las áreas vecinas.

A mediados del siglo XI el principal centro fortificado del Val di Chio parece ser Castiglion Fiorentino, un asentamiento de menos de una hectárea de superficie provisto de una torre y de una muralla defensiva de piedra. Sin embargo, quizás al final del XI y con más probabilidad a principios del siglo XII, debieron de aparecer una serie de pequeños castillos o estructuras fortificadas individuales, distribuidas a lo largo de toda la zona montañosa alrededor de Val di Chio. Las evidencias de esta hipótesis se reconocen en la construcción de recintos defensivos, como en los casos mencionados por Mammi y Montanina.

El verdadero símbolo arquitectónico de este período son las torres, estructuras de planta cuadradas y de piedra, con una superficie interna reducida y una cantidad limitada de vanos. Características que se refieren inmediatamente a un contexto arquitectónico militar. Hay testimonios de este tipo de edificios, así como en el mismo Castiglion Fiorentino, también en Montecchio, en Tuori y en Montanina.

Los proyectos de construcción de murallas defensivas y torres son empresas que supusieron probablemente una fuerte inversión económica por parte de los promotores; esto se debe a la complejidad de la acción constructiva llevada a cabo, que parece haberse desarrollado a través de un complejo ciclo de producción. Las diversas obras requirieron la presencia de un gran número de trabajadores, equipados con diferentes habilidades técnicas. Estas iban desde la extracción del material lítico, pasando por el trabajo de la pieza, a veces a través de un preciso trabajo de cuadratura y de operaciones de acabado, hasta la instalación final.

Además, las peculiares características arquitectónicas de las torres parecen responder a precisas necesidades de representación de poder por parte de los clientes. Fenómeno, este último, bien documentado tanto en relación con los áreas rurales vinculados con el fenómeno del encastillamiento (Bianchi 2003, 723-26; Cantini 2003, 231-41; Bianchi 1995, 365), como en los contextos urbanos también (Mini 2009, 339-401; De Minicis 2001; Settia 1988). Entre finales del XI y principios del siglo XII, se construyeron estructuras con un fuerte valor simbólico.

¿Pero en este caso qué poder representaban? Para responder a esta pregunta es útil la contribución ofrecida por las fuentes escritas. En pocas palabras, la reconstrucción de los acontecimientos históricos a través de los documentos nos habla del intento de apropiación del control del territorio de Arezzo por parte de la familia de los *Marchiones*. El fundador de esta familia es probablemente Ranieri I, duque de Spoleto en 1012 y marqués de Tuscia dos años después. En el siglo XI, los *Marchiones* poseían numerosos bienes y propiedades en grandes zonas del centro de la Italia, dentro de las diócesis de Perugia, Gubbio, Città di Castello y Arezzo (Tiberini 1994).

Precisamente a través de los documentos de principios del siglo XI, reconocemos los pasos en el intento de establecer un control sólido en el territorio de Arezzo por parte de esta familia. Esta voluntad probablemente estaba promovida como consecuencia de los numerosos intereses patrimoniales de la familia presentes en esta área (Taddei 2009, 65-66, Delumeau 1996, 257, Delumeau 1996a, 268, Tiberini 1994, 507, Delumeau 1985, Tobacco 1973, 178). Pero el proyecto fracasa pocos años más tarde y ya a mediados del mismo siglo la autoridad de la familia dentro de la ciudad de Arezzo parece estar en declive (Delumeau 1996a, 270, Tiberini, 1994, pp. 515-16, Tabacco 1973, 184).

Excluida la oportunidad de poder extender su hegemonía a todo el condado, es posible que los *Marchiones* hayan dirigido sus proyectos de control territorial hacia una realidad más limitada y periférica. Las posesiones cercanas a la ciudad probablemente fueron alienadas de forma progresiva; al mismo tiempo, los intereses de la familia se habrían dirigido hacia un contexto territorial marginal, donde el reconocimiento de su patrimonio parecía más seguro y el control alodial de cuotas de castillos habría ofrecido

mayores garantías (Taddei 2009, 66-67; Tiberini 1997, 202- 03; Tiberini 1994, 520-22).

Con la intención de ejercer prerrogativas de poder, los *Marchiones* se establecieron inmediatamente como antagonistas del poder jurisdiccional que en ese momento estaba en manos del obispo de Arezzo. En confirmación de esta hipótesis, en 1066 los *Marchiones* se mostraron, a través de la documentación conservada, ocupando la administración de justicia en el contexto territorial de la Val di Chio (Delumeau 2001-2002, 572, Tiberini 1994, 529-30, Tabacco 1973, 185).

De estos mismos documentos surge la política adoptada por la familia para el establecimiento de su poder señorial. Por un lado se reconoce la precisa intención de apoyar a las instituciones monásticas y eclesiásticas locales mediante herencias y donaciones; por otro lado, pero en parte como consecuencia del primero, se identifica el establecimiento de una red de relaciones clientelares, un elemento que se considera la base fundacional del señorío *marchionale* en Val di Chio. En la misma documentación de 1066 ya se puede leer la presencia de una clientela local jerarquizada, definida en los actos a través de una nomenclatura de derivación pública; como el uso de títulos de *vicecomites* y *castaldiones* para entidades privadas dotadas con solo un cierto reconocimiento local.

Entre estos individuos también existían seguramente relaciones familiares, a menudo construidas a través de vínculos matrimoniales que, en algunos casos, llevarían a una relación directa con la familia de los *Marchiones* (Taddei 2009, 67-68).

La red clientelar se ampliaba a los niveles inferiores de una mayor estratificación social, principalmente constituida por los miembros de una clase militarizada, quienes residirían en los principales *castra* difundidos por toda el área sujeta al control de la familia.

Los *Marchiones* centran su atención en el castillo de Castiglion Fiorentino precisamente desde la segunda mitad del siglo XI. La construcción de una primacía señoral en el Val di Chio parece haber tenido un pilar fundamental exactamente dentro del castillo de Castiglion Fiorentino, donde los mismos *Marchiones* y sus *milites* poseían grandes partes del *castrum*. Es entre estos personajes de la familia señoral en auge donde se podrían reconocer a los promotores de la construcción de la torre, edificio emblema de la estabilización de su poder dentro del asentamiento y en el territorio vecino. Se trata de un sistema de representación material del control territorial que se repite también en otros contextos cercanos.

Un ejemplo emblemático de esta política de gestión se puede encontrar en Montecchio. Aquí son precisamente los *Marchiones* los promotores de la construcción del primer núcleo de asentamiento de este castillo o, más bien, algunos miembros de su grupo clientelar. Con toda probabilidad se trató de algunos individuos asociados en un consorcio aristocrático que parece haber promovido la construcción de la torre de la cumbre de la colina, un cuerpo de fabrica de prestigio y de alta calidad constructiva, claramente preparado para responder a la necesidad de representar el poder de los promotores (Giovannini 2016 , 501-06).

Se encuentran similitudes con la fundación del asentamiento de Montanina, una fortaleza cuyas evidencias materiales se puedan fechar en la segunda mitad del XI y los principios del siglo XII, Se trata de un castillo que encuentra su primera referencia documental en 1117 cuando se declara posesión de los marqueses de Monte Santa María, alias los *Marchiones* (Giovannini 2016, 312-18).

Las fundaciones de Mammi y Tuori, la primera de ellas con huellas materiales de una muralla defensiva que se puede remontar al período entre mediados del XI y el siglo siguiente, se remonta hasta la familia *Lambardi*, una pequeña *familia aristocrática de castillo* que en diversas formas era parte de los clientes de los habituales *Marchiones* (Giovannini 2016, 300-12, 318-22).

Para concluir, si se mirase más allá de los confines del Val di Chio, se podría ver cómo un fenómeno similar puede ser reconocible a lo largo de toda la cordillera de los Apeninos entre las regiones de Toscana, Umbria y Marche. Una serie de pistas sugerirían que en este período los *Marchiones* comenzaron a rodearse de un círculo de *fideles*, a administrar justicia e imponer impuestos y tributos de manera autónoma en un área mucho más amplia que la analizada hasta ahora. Parece creíble suponer que estos últimos habían constituido una red clientelar que tenía que residir en los principales *castra* de esta zona. A través de una profundización de esta investigación se podría evaluar la posición de los castillos, la tipología de sus estructuras arquitectónicas y su eventual función como símbolo de control territorial y de emblema garante de la protección ofrecida por la familia y sus seguidores.

Notas

1. El estudio incluyó la recopilación de informaciones sobre una amplia variedad de soluciones de asentamiento y trató de comprender los vínculos dialécticos entre las diferentes tipologías. El proceso de investigación también tuvo como objetivo el análisis de los aspectos socio-políticos, la comprensión de las dinámicas de formación de las autoridades locales y sus relaciones con los contextos rurales durante la Edad Media. Se recogieron informaciones territoriales, fuentes históricas, datos materiales e indicadores arqueológicos. De estos últimos, se prestó especial atención al estudio de las técnicas de construcción y a las tipologías relacionadas con los edificios medievales conservados de acuerdo con los parámetros disciplinarios típicos de la arqueología de la arquitectura. Estos elementos han demostrado ser sustanciales para la comprensión de algunos fenómenos de origen económico y de sus interacciones con los cambios socio-culturales a lo largo de los siglos.
2. Esta investigación se ha desarrollado dentro del proyecto «*Petrifying Wealth. The Southern European Shift to Mansory as Collective Investment in Identity, c. 1050-1300»* del CCHS-CSIC Instituto de Historia, financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea bajo de acuerdo n. 695515. Investigadores Principales Ana Rodríguez y Sandro Carocci.
3. Se agradece por la ayuda concedida, las sugerencias ofrecidas y la revisión de esta contribución los Profesores Ana Rodríguez (IH, CCHS-CISC), Sandro Carocci (Università degli Studi di Roma Tor Vergata), Therese Martin (IH, CCHS-CISC) y Enrique Capdevila Montes (IH, CCHS-CISC).
4. Las imágines fotográficas se han elaborado a través de software específico, que ha permitido crear nube de puntos de densidad parametrizable, con información RGB a partir de bloques de fotos digitales. De los modelos tridimensionales obtenidos fue posible conseguir nuevos productos como DEM, ortofotos, ortofotomosaicos, perfiles y curvas de nivel; a partir de estos elementos, a su vez, fue posible obtener planes arquitectónicos bidimensionales y modelos vectoriales tridimensionales.

Lista de referencias

Bianchi, G. 1995, *L'analisi dell'evoluzione di un sapere tecnico, per una rinnovata interpretazione dell'assetto abitativo e delle strutture edilizie del villaggio fortificato di Rocca San Silvestro*. En *Acculturazione e mutamenti. Prospettive nell'archeologia medievale del Mediterraneo*, VI ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia, editado por R. Francovich y R. Boldrini: 361-396. Firenze.

Bianchi, G. 1996. *Trasmissione dei saperi tecnici e analisi dei procedimenti costruttivi*. En *Archeologia dell'Architettura*, I: 53-65.

Bianchi, G. 2003, *Campiglia. Un castello e il suo territorio*. Firenze.

Bianchi, G. y Francovich, R. 2000. *Castello di Donoratico (Castagneto Carducci – Livorno) Prima campagna di scavo, giugno-luglio 2000*. En *Archeologia Medievale*, XXVII: 264-265.

Brogiolo, G. P. 1988. *Archeologia dell'edilizia storica*. Como.

Cagnana, A. 2000, *Archeologia dei materiali da costruzione*, Mantova.

Cantini, F. 2003. *Il castello di Montarrenti: lo scavo archeologico (1982-1987). Per la storia della formazione del villaggio medievale in Toscana*. Firenze.

Delumeau, J. P. 1985. *Equilibri di potere ad Arezzo dal periodo tardo carolingio al primo periodo comunale*. En *Arezzo e il suo territorio nell'Altomedioevo*. Atti del convegno (Arezzo, 22-23 ottobre 1983) : 87-110. Firenze.

Delumeau, J. P. 1996, *Arezzo espace et sociétés 715-1230*. Roma.

Delumeau, J. P. 1996a. *Dal Conte Suppone il Nero ai marchesi di Monte Santa Maria*. En *Formazione e struttura dei ceti dominanti nel Medioevo: marchesi, conti e visconti del Regno italico (secc. IX-XII):* 265-286. Roma.

Delumeau, J. P. 2001-2002, *Castiglion Aretino dal castrum al Comune: l'autonomia impossibile?* En *Atti e memorie dell'Accademia Petrarca di Lettere, Arti e Scienze,* LXIII-LXIV: 310-340. Arezzo.

De Minicis, E. 1999. *Tradizione e innovazione delle tecniche murarie duecentesche: il bugnato federiciano*. En *Temi e metodi di archeologia Medievale*, editado por E. De Minicis: 145-157. Roma.

De Minicis, E. 2001. *Le torri urbane tra XI e XIII secolo: indagine in area laziale*. En *Case e torri medievali*, editado por E. De Minicis y E. Guidoni: 9-14. Roma,

Giovannini, F. 2016. *Archeologia e storia della Val di Chiana. Dinamiche insediative e strutture di potere tra X e XV secolo nella Toscana orientale*. Tesi di dottorato. Scuola di dottorato in Storia e Archeologia Globale dei Paesaggi. XXVIII ciclo. Università degli Studi di Foggia.

Leonardi, G. 1992. *Assunzione e analisi dei dati territoriali in funzione della valutazione della diacronia e delle modalità del popolamento*. En *Archeologia del Paesaggio, 4° Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia,* editado por M. Bernardi: 25-66. Firenze.

Mini, A. 2009, *Tecniche e tipi edilizi: per una storia urbana di Arezzo dall'antichità al medioevo attraverso*

l'archeologia dell'architettura. Tesi di dottorato in archeologia medievale. XX ciclo. Università degli studi di Siena.

Molinari, A. Giovannini, F. y Orecchioni, P. 2012. *Per una storia dell'incastellamento in Valdichiana: lo scavo nel sito di Montecchio Vesponi (AR)*. En *VI Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*, editado por F. Redi y A. Forgione: 301-307. Firenze.

Parenti, R. 1988. *Sulle possibilità di datazione e di classificazione delle murature*. En *Archeologia e restauro dei monumenti,* editado por R. Francovich y R. Parenti, 280-304. Firenze.

Redi, F. 1989. *Edilizia medievale in Toscana.* Firenze.

Redi, F. 1991. *Pisa com'era: archeologia, urbanistica e strutture materiali (secoli V-XIV)*. Napoli.

Settia, A. 1988. *Lo sviluppo di un modello: origine e funzioni delle torri private nell'Italia centro settentrionale*. En *Paesaggi urbani nell'Italia padana nei secoli VIII-XIV:* 157-171. Bologna.

Tabacco G. 1973. *Arezzo, Siena, Chiusi nell'Alto Medioevo.* En *Atti del 5° convegno Internazionale di Studi sull'Alto Medioevo* (Lucca 3-7 ottobre 1971): 163-189. Spoleto.

Taddei, G. 2009. *Castiglion Fiorentino fra XIII e XV secolo. Politica, economia e società di un centro minore toscano*. Firenze.

Tiberini, S. 1994. *Origini e radicamento territoriale di un lignaggio umbro-toscano nei secoli X-XI, i "Marchesi di Colle" (poi "del Monte S. Maria")*. En *Archivio Storico Italiano*, CLII: 481-559.

Tiberini, S. 1997. *I "Marchesi di Colle" dall'inizio del XII secolo alla metà del XIII: la costruzione del dominio territoriale.* En *Archivio Storico Italiano,* CLV: 199-264.

La arquitectura del camino del azúcar en Morelos

Salvador Gómez Arellano
Adolfo Enrique Saldivar Cazales

El estado de Morelos es una región privilegiada en cuestiones climáticas y de recursos naturales; se encuentra ubicado aproximadamente una hora al sur de la Ciudad de México y en cuestiones geográficas representa el 0,25% del territorio nacional (INEGI 2019), con una superficie total de 4958 km^2.

De este modo, gracias a su ubicación geográfica y los distintos tipos de clima que presenta, permitió la proliferación de fábricas de azúcar a lo largo y ancho de sus límites geográficos, iniciando con el establecimiento de un molino o trapiche (en ocasiones muy rudimentario), para la extracción del jugo de la caña de azúcar llamado también «guarapo».

En la región morelense el primer trapiche instaurado fue el de Axomulco. Según Alfonso Toussaint, Hernán Cortes se encontraba ausente en la Nueva España, ya que, había sido llamado por la corona española donde lo nombrarían Marques del Valle de Oaxaca, sin embargo, Antonio Serrano de Cardona o Villarroel obtiene la encomienda de Cuernavaca y aprovecha la oportunidad para comprar a los naturales algunas tierras para fundar allí un Ingenio: Axomulco; Regresa Hernán Cortés de España, ya siendo Marqués del Valle de Oaxaca, y le pone pleito a Cardona por el ingenio de Axomulco, logra que el virrey Antonio de Mendoza, dé la sentencia en 1539 que manda o se forme una compañía o sociedad en siete partes, seis de las cuales eran para Cardona y una para Cortés (Toussaint 2010, 20).

Sin embargo, Axomulco se encontraba ubicado al norte de la actual ciudad de Cuernavaca, una zona alta que no favorecía a las plantaciones de caña de azúcar que, aunque contaba con gran cantidad de agua, el clima frio de esa zona no permitía el crecimiento óptimo de la caña. Aunado a esto y otorgándole una parte a Hernán Cortés Axomulco va a la quiebra.

Por su parte Hernán Cortés instauró su primer trapiche a unos 3km de distancia al sur de Axomulco, es decir, se trasladó a una zona un poco más cálida: la de Tlaltenango, sin embargo, el clima aun no era suficientemente bueno, y tuvo que ir todavía más al sur, donde fundó la hacienda de San Antonio Atlacomulco, la cual, le brindó grandes ganancias.

Es decir, desde que se establecieron los primeros trapiches en la zona norte de la ciudad de Cuernavaca en el siglo XVI (Axomulco, Tlaltenango y San Antonio Atlacomulco), se potencializó la multiplicación de fábricas dedicadas a la elaboración de azúcar en el estado de Morelos.

Desde la llegada de los españoles, el rumbo del estado de Morelos fue entorno a las haciendas azucareras especialmente, ya que se apoderaron de gran parte del territorio y esencialmente de los recursos naturales que la zona ofrecía, sin embargo, no solo se contaba con haciendas para la extracción de azúcar, también dedicadas al beneficio de metal, haciendas de labor y en algunos casos se presentaba un uso mixto incorporando la elaboración de alcohol o la elaboración de harina de trigo.

Las Haciendas Azucareras Morelenses

Una Hacienda es una propiedad situada en el medio rural que contaba con sólidas construcciones, habitaciones, capilla, almacenes, corrales y demás edificios (Mentz 1997, 19), todos ellos destinados tanto para la producción, así como, para la habitación de sus dueños y administradores.

La distribución arquitectónica de una hacienda azucarera se puede dividir principalmente en dos partes: la parte habitacional y la parte industrial. Cabe mencionar que, aunque las haciendas azucareras cuentan con los mismos espacios arquitectónicos, no son iguales en ningún caso, ya que, esto varía según a las necesidades específicas de cada caso, e influye incluso la topografía del terreno donde se construyó, es decir, no existe una planta tipo de una hacienda azucarera, más bien, contempla los mismos espacios, pero ajustado a las necesidades de la misma (figura 1).

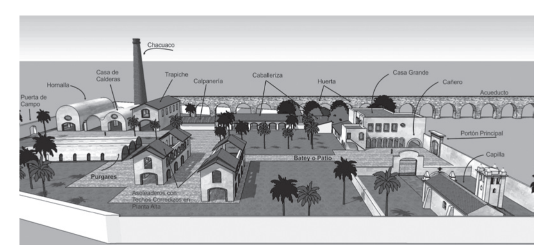


Figura 1
Modelo 3D de una hacienda azucarera morelense (S. Gómez, 2015)

En la parte habitacional se encontraba la arquitectura donde los dueños y administradores desarrollaban su vida cotidiana, se debe recordar que las haciendas azucareras morelenses se encontraban insertas en un medio rural, el cual, estaba alejado de núcleos urbanos, rodeado de grandes hectáreas de plantaciones de caña de azúcar.

Lo que destaca de parte habitacional son dos elementos arquitectónicos de suma importancia, que representaban la estabilidad, riqueza y poderío de la hacienda, la primera era la «casa grande» y la segunda la capilla (figura 2).

Las casas grandes que aún se conservan en Morelos son 43 (unas más conservadas que otras), las cuales, presentan características similares, sin embargo, cada caso es especifico, por lo general son de dos plantas, casi siempre se ubicaban las habitaciones en la planta alta, donde el hacendado pudiera tener el control de toda la hacienda, ya que, la casa grande emplaza siempre al patio de maniobras de la hacienda, donde se desarrollaba gran parte de la vida diaria de una hacienda (figura 3).

Por otro lado, la capilla de la hacienda era de suma importancia para los hacendados, ya que, de alguna manera mostraba el estatus de la fábrica. Las capillas que se encuentran en la actualidad en las haciendas de Morelos son 35, estas varían en sus dimensiones y se pueden encontrar naves muy amplias y altas adornadas con retablos barrocos dorados, hasta capillas un poco más modestas; tal pareciera que la capilla fuera el icono representativo de la hacienda y que según su ornamentación y sus dimensiones mostraban cuan prospera era.



Figura 2
Casa grande y Capilla de la hacienda de Santa Ana Tenango (Foto: S. Gómez, 2015)



Figura 3
Fachada principal de la casa grande de la hacienda de Oacalco (Foto: S. Gómez, 2015)



Figura 4
Interior de la capilla de la hacienda san José Acamilpa (Foto: S. Gómez, 2015)

En la actualidad, algunas capillas se encuentran en muy mal estado, ya que no se les ha dado un uso ni mantenimiento alguno; otras pocas, se emplean para realizar el culto religioso de forma privada (figura 4), ya que se utilizan solo para la celebración de fiestas, donde se ofrece el casco de la haciendas como salón de eventos, rentando también la capilla para realizar el culto religioso en bodas y XV años principalmente; sin embargo, algunas otras capillas si se les da un uso frecuente, ya que éstas se convirtieron en la iglesia de la comunidad, donde el rito religioso es constante, manteniéndolo de alguna manera en buen estado y lo que es mejor aún, dándole el uso para el que fueron construidas (figura 5).

Los espacios industriales son más variados, cada uno de los espacios respondía a una necesidad en la fabricación del azúcar.

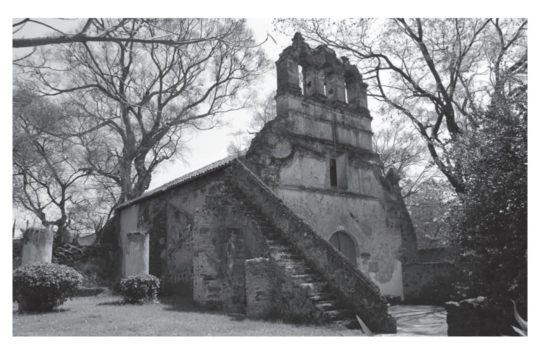


Figura 5
Capilla de la hacienda de Apanquetzalco (Foto: S. Gómez, 2015)

La técnica tradicional de fabricación de azúcar fue aportación de los árabes y perfeccionada por los españoles, los cuales la trajeron a la Nueva España y la implementaron en los cascos de las haciendas.

La elaboración de azúcar iniciaba con la recolección de la caña de azúcar de los campos agrícolas que les pertenecían a las haciendas y llevadas a través de los «caminos de saca» hacia la hacienda, donde llegaba al primer espacio industrial conocido como «cañero».

El cañero es el lugar donde se iba apilando la caña de azúcar según iba llegando a la hacienda, ya que, ésta debía ser exprimida lo más rápido posible después de su corte, ya que, si se deja pasar mucho tiempo el jugo de la caña se empieza a concentrar y se vuelve más difícil su extracción. Posteriormente la caña pasaba al trapiche.

Aquí se debe de hacer una aclaración, ya que desde el siglo XVI hasta inicios del Siglo XX se utilizaron diversos tipos de trapiches o molinos en Mo-

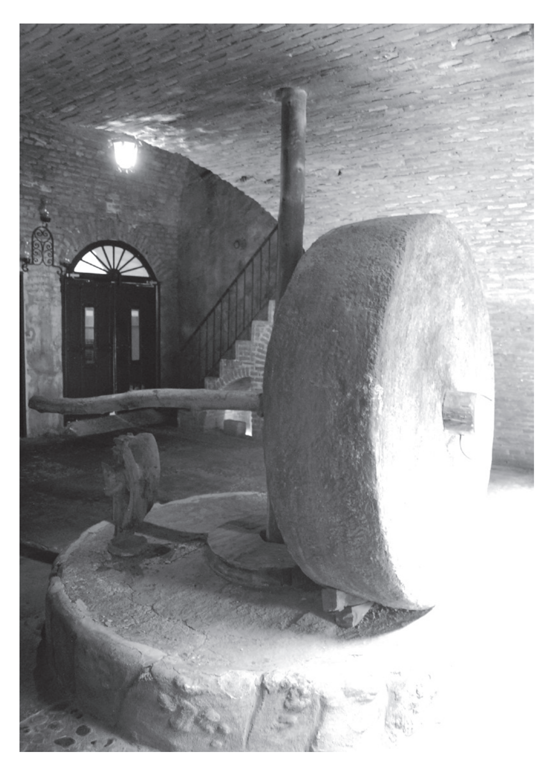


Figura 6
Piedra de molino (Foto: S. Gómez, 2015)

relos, que va desde una simple rueda de piedra movida por fuerza animal o humana (figura 6) que exprimía el jugo a través del aplastamiento de la caña, hasta trapiches especializados que funcionaban a través de vapor; aunque son muy pocos los ejemplos de cada uno de estos casos, afortunadamente existen hoy en día vestigios de este importante elemento.

Por otro lado, en este mismo espacio donde se encontraba el trapiche, en algunas ocasiones también se encontraba una prensa que extraía lo poco que quedaba de jugo de caña acumulada en el bagazo. Sin embargo, no se cuenta con ejemplos físicos de esta importante maquinaria.

Posteriormente, ya teniendo el jugo de la caña, este pasaba a la casa de calderas donde se cocinaba.

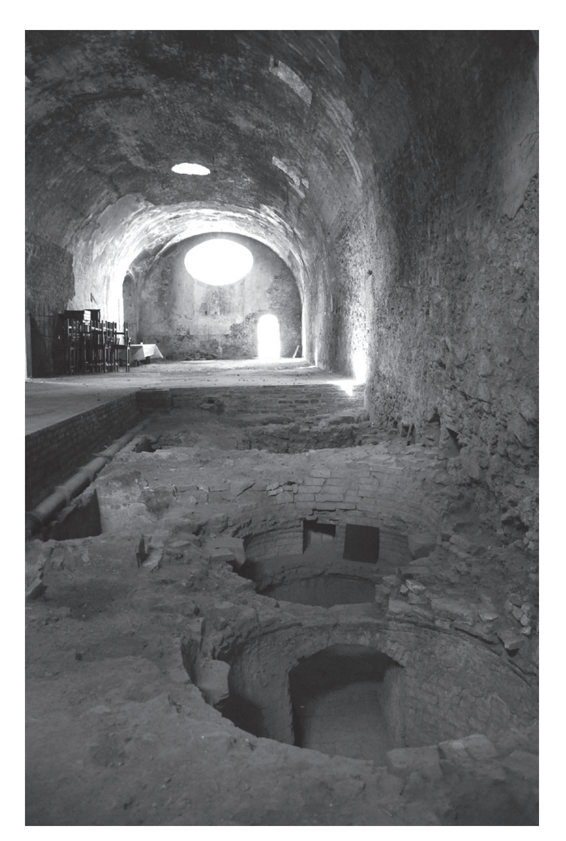


Figura 7
Casa de calderas de la hacienda Santa Catarina Chiconcuac (Foto: S. Gómez, 2015)



Figura 8
Casa de calderas y hornalla de la hacienda de Acatzingo (Foto: S. Gómez, 2015)

La casa de calderas contenía algunos elementos (además de las propias calderas) que formaban parte del procedimiento para la elaboración de la azúcar de caña, como lo era el tanque que recibía el caldo.

El jugo que llegaba del trapiche a la casa de calderas a través de un canal que podía ser de madera o de cal y canto, caía en un recipiente llamado «tanque»: éste era de madera y podía tener contorneras de hierro (Scharrer 1997). Todo este recorrido que hacia el jugo se realizaba a través de gravedad, incluso, físicamente se puede observar como el trapiche en relación con la casa de calderas se encuentra un nivel más bajo (figura 7).

Las calderas se calentaban con una hoguera independiente. Se le suministraba el fuego a través del espacio arquitectónico conocido como la «hornalla» que de igual forma se encontraba un nivel más bajo en relación a la casa de calderas (figura 8), es decir, estos tres espacios arquitectónicos (trapiche, casa de calderas y hornalla) casi siempre se encontraban juntos, uno pegado al otro.

Ya que el jugo de la caña se encontraba en «punto de azúcar» se procedía a llenar unas formas de barro la cuales eran de variadas dimensiones y llevadas al «purgar» o «casa de purga».

El Purgar o la Casa de Purga era un espacio arquitectónico que generalmente se encontraba en la planta baja de la casa grande (figura 9), ya que se tenía que mantener vigilado constantemente o bajo llave para evitar el robo de los panes de azúcar, sin embargo, en algunos casos, el purgar era una edificación


Figura 9
Purgar de la hacienda de San Antonio el Puente (Foto: S. Gómez, 2015)

independiente a todas las demás construcciones dentro de una hacienda azucarera (figura 10).

Eran generalmente locales alargados con poca o nula ventilación (para evitar que las mieles se evaporaran), donde se dejaban las formas incrustadas dentro de los sendos «porrones» que recogían las mieles incristalizables (Toussaint 2010, 23). Para los purgares se necesitaba mucho espacio, ya que, se iban acomodando las formas de barro y se debía tener suficiente espacio para colocarlas una junto a la otra. Por esta razón las haciendas contaban por lo general con más de un purgar (Scharrer 1997, 97).

Para secar completamente el azúcar resultante en las formas de barro, se llevaba a los asoleaderos que muchas veces contaban con techos corredizos, ya que, en el transcurso de los meses de mayo a septiembre, las lluvias que se presentan el estado son muy fuertes.

Por otro lado, en las haciendas azucareras, los talleres eran de suma importancia para el correcto funcionamiento de la elaboración de azúcar.

Con frecuencia se observaban talleres bien equipados, como una herrería, una carpintería, lo que les permitía ser autosuficientes en el suministro de trabajos especializados, además contaban con una alfarería, que producía los conos de barro (las formas) donde se cristalizaba el azúcar (Wobeser 1989, 85).

Y finalmente un elemento arquitectónico de suma importancia para la elaboración de azúcar eran los acueductos que llevaban el líquido hasta el interior de la hacienda.

Una vez conducido el líquido hasta la unidad de producción, era distribuido dentro de la misma. Muchos acueductos desembocaban directamente en el cuarto de molienda del trapiche o ingenio, para impulsar una red de canales y acequias (llamados apantles en la zona) hacia los cañaverales (Wobeser 1983, 487).

La inversión que el hacendado hacía en la construcción de un acueducto era muy grande, ya que en ocasiones los acueductos median kilómetros de longitud, sin embargo, esta inversión era viable, ya que garantizaba el agua en su propiedad, «y se compensaba por el hecho que las tierras irrigables subían de valor» (figura 11).

De acuerdo con Domingo Diez, los acueductos más importantes por su costo, y por los problemas técnicos que se tuvieron que resolver para construirlos fueron los de San José Vista Hermosa, San Nico-


Figura 10
Purgares de la hacienda de san José Vista Hermosa (Foto: S. Gómez, 2015)


Figura 11
Acueducto de la hacienda de Santa Bárbara Calderón (Foto: S. Gómez, 2015)



Figura 12
Acueducto de la hacienda de San Francisco Cuauhtepec (Foto: S. Gómez, 2015)

lás Tolentino, San Salvador Miacatlán, San Juan Chinameca, San Carlos Borromeo, Nuestra Señora de la Concepción Hospital, Santa Bárbara Calderón, Santa Clara Montefalco, Santa Ana Tenango y San Antonio Atlacomulco.

En la actualidad 39 haciendas morelenses conservan su acueducto, estos son de diferentes longitudes, formas, ornamentación, e incluso, unos se encuentran casi al borde de la destrucción (figura 12).

Este era el proceso a grandes rasgos de la elaboración de azúcar en el antiguo proceso conocido también «a fuego directo»; posteriormente a través de los siglos este se llevó a su modernización a través de vapor y es por eso que los espacios que se requerían para tal función eran variados y de grandes dimensiones.

En la actualidad aún se encuentran vestigios de las poderosas haciendas, y es a través de sus elementos, detalles y espacios arquitectónicos, que se puede visualizar la grandeza, la autoridad y el poderío de los dueños de éstas fábricas, que si bien, eran dueños de una gran extensión de tierra para los sembradíos de caña de azúcar, también eran dueños de la vida de sus trabajadores.

En los actuales límites del estado de Morelos, se encuentran vestigios de al menos 65 cascos de haciendas, que van desde un campanario aislado (figura 13) y algunos muros derruidos, hasta los majestuosos cascos reutilizados y adaptados como hoteles 5 estrellas o para la realización de eventos sociales, sin embargo, también se encuentran cascos abandonados rodeados de sembradíos de caña o maíz, arruinados y saqueados por buscadores de tesoros, que hacen excavaciones incluso en muros, destruyendo cualquier elemento arquitectónico a su paso, por poner solo un ejemplo, sin embargo y a pesar de tal destrucción, aún se puede observar la majestuosidad y monumentalidad de la arquitectura en las haciendas morelenses (figura 14).



Figura 13
Únicos restos de la hacienda de San Nicolás Sayula (Foto: S. Gómez, 2015)

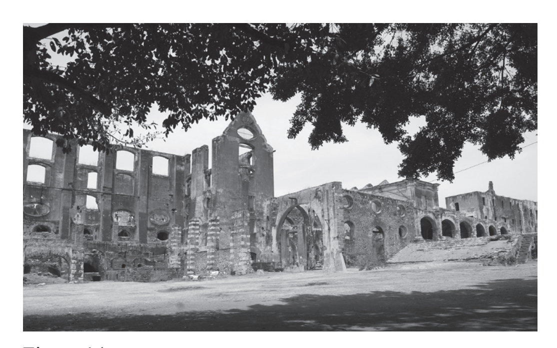


Figura 14
Hacienda de San Antonio Coahuixtla (Foto: S. Gómez, 2015)

Lista de referencias

INEGI. 2019. *Instituto nacional de estadística y geografía*. http://www.inegi.org.mx.

Mentz, Brigida Von. 1997. Visión general de la historia de las haciendas. En *Haciendas de Morelos,* 17-70. *México: Miguel Ángel Porrú*a.

Scharrer, Beatriz. 1997. *Azúcar y trabajo: tecnologia de los siglos XVII y XVIII en el actual estado de Morelos*. México: Miguel Ángel Porrúa.

Toussaint, Alfonso. 2010. *Haciendas en morelos.* Editado por A. Cuevas, J. Zavaleta, J. Jayme y E. Campuzano. Cuernavaca.

Wobeser, Gisela Von. 1983. *El uso del agua en la región de Cuernavaca y Cuautla durante la época colonial.* México: Instituto de Investigaciones Históricas.

Wobeser, Gisela Von. 1989. *La formación de la hacienda enla época colonial.* 2nd ed. México: Instituto de Investigaciones Históricas.

Formulación de criterios técnicos para conservar una cúpula en condición de riesgo dañada por impacto sísmico

Agustín Hernández Hernández

Al analizar el partido estructural de la Iglesia de Nuestra Señora de los Ángeles, se deduce que fue construida en etapas y según la historia, la primera de ellas empezó por el año 1580 con una capilla de adobe de modestas dimensiones, que después en 1607 se reconstruyó con mampostería, la cual con el paso del tiempo creció de manera gradual, hasta que en 1808 adquirió la fisonomía que revela en la actualidad la planta de feligresía, (figura 1). Al momento de interpretar la traza de la zona poniente y trasladarla hacia el oriente, se identifica una nula relación entre ambas. Lo mismo ocurre cuando en la zona de la cúpula central observamos doce pilares perimetrales que no continúan en el desarrollo de toda la nave y finalmente es importante destacar que los muros longitudinales además de ser discontinuos tienen distintas proporciones.

Esta serie de aspectos conduce a pensar que cada etapa de construcción, seguramente se configuró con programas arquitectónicos diferentes. Tal aseveración se exhibe al dividir la planta en tres porciones, donde los muros longitudinales más generosos sólo aparecen en la última etapa.

La presente conferencia se centra en la actual condición de la cúpula central, construida entre 1885 y 1890, la cual fue producto de una auténtica reestructuración del siglo XIX, realizada por el Arq. Emilio Dondé, quien para construir éste gran elemento de 15 metros de diámetro, adicionó doce pilares de cantera chiluca de un metro de diámetro, conectadas a la estructura original mediante arcos fajones de cantera en dirección norte-sur, principalmente. Desde el punto de vista compositivo el espacio ofrece una altura y proporciones que conllevan a la devoción y majestuosidad, es decir, es buena arquitectura.

Probablemente en México, fue la primera iglesia que se reestructuró, por lo que el Arq. Emilio Dondé, se convirtió en el primer profesional que reforzó una estructura histórica para hacer una integración arquitectónica, es decir, que para el quehacer arquitectónico de aquel momento, constituye un referente donde se aplicó una metodología de trabajo profesional absolutamente novedosa para le época. Además vale la pena señalar, que desde el momento en que uno ingresa a la iglesia, se identifica la habilidad que tuvo el Arq. Dondé, de asociar el diseño arquitectónico en la solución de problemas técnicos.

Lamentablemente 127 años después, el día domingo 24 de septiembre del 2017, cinco días después del terrible terremoto que impactó a la Ciudad de México, ocurrió el colapso en la cúpula. Debido a que hasta el día de hoy, un año y medio después de sucedido el terremoto, la condición de riesgo continua igual, sin embargo se identificó que éste tema constituye todo un reto profesional, por lo que se eligió para investigar una serie de criterios en pro de su conservación (figura 2).

Descripción

La iglesia que tiene su acceso por la calle denominada Lerdo, se compone de una sola nave de aproxima-

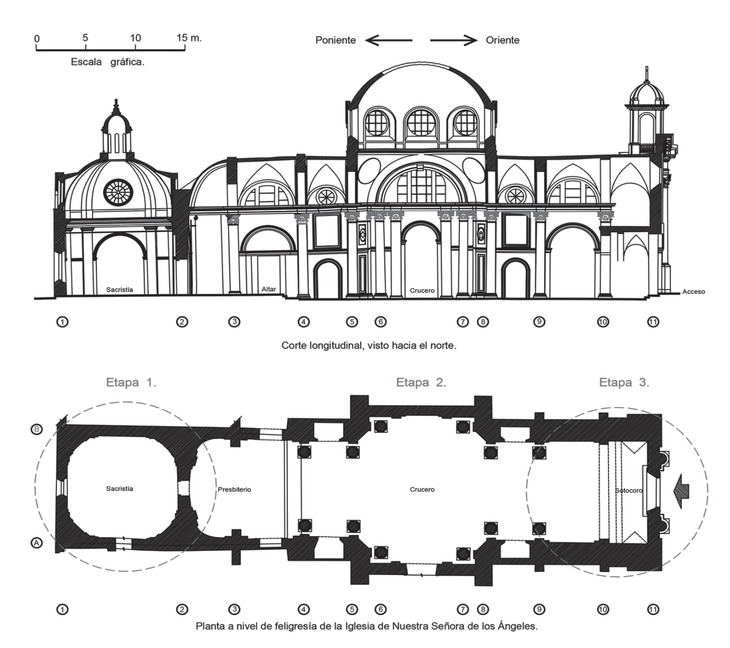


Figura 1
Planta y alzado de la iglesia (dibujos elaborados por Agustín Hernández Hernández)

damente 12,0 m de claro libre y 64,0 m de largo, orientada de oriente a poniente y en la parte intermedia se localiza el crucero donde el claro se incrementa a 17,5 m. Este incremento de anchura aporta grandiosidad al espacio interior, después continua la zona del presbiterio donde el claro vuelve a disminuir y por una puerta situada en el centro del muro testero, se puede ingresar a la sacristía.

Las cubiertas están resueltas a base de bóvedas de lunetos cuya clave está a 16,5 m de altura y tanto el crucero como la sacristía tienen cúpulas (figura 3). De éstas dos, la del crucero fue donde se registró el colapso, sin embargo, en medio de la incertidumbre que prevalece, aún se alcanza a deducir que tenía unas proporciones magníficas que la hacían protagonizar en todo el conjunto arquitectónico.

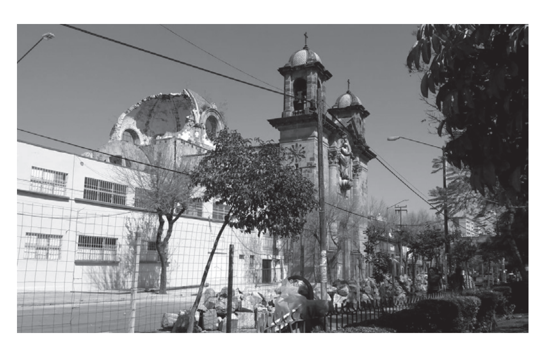


Figura 2
Imagen sobre el colapso en la zona de la cúpula (Foto: Agustín Hernández Hernández)



Figura 3
Estado actual de la azotea (Foto: Agustín Hernández Hernández)

La cúpula del crucero tiene la geometría de un casquete esférico de 7,5 m de radio, apoyado sobre un tambor octagonal que gravita sobre los arcos formeros apoyados en ocho pilares excéntricos que sobresalen del paño de los muros de mampostería las cuales fueron realizadas con admirable oficio. Visualmente la cúpula parece carecer de tambor, debido a la proporción que tiene con las lucarnas dispuestas en cada lado, sin embargo, tiene un sutil tambor de 3,71 m de altura y coincide con el nivel de los semicírculos de las lucarnas de 3 m de diámetro, donde a partir de ésta referencia geométrica, empieza el casquete esférico de la cúpula.

Es importante señalar que los muros longitudinales, tienen alojado en su espesor a los confesionarios que por su proporción aíslan estructuralmente a la cúpula del conjunto. La disposición de estos espacios entremuros, disminuyen drásticamente la capacidad a cortante de los muros (figura 4).

Para completar la descripción del área construida, resulta importante comentar que después de la sacristía, se encuentra una construcción anexa que por sus características constructivas, parece que fue construida a finales del siglo XIX, y en ella se encuentran las oficinas administrativas que tienen acceso por la calle denominada Soto.

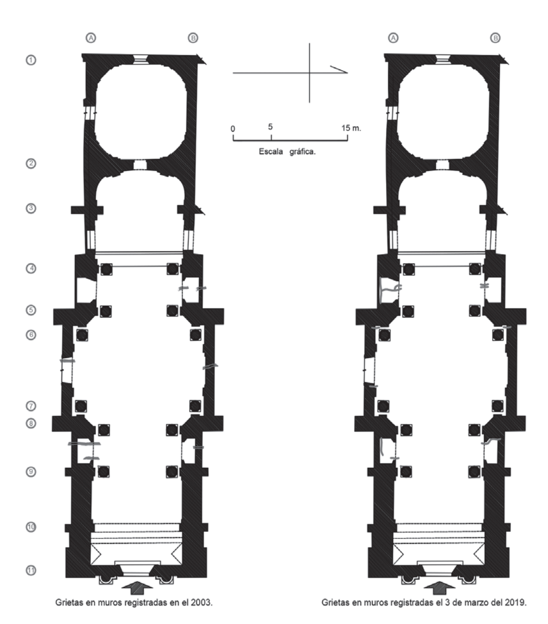


Figura 4
Registro de grietas en los muros (dibujos elaborados por Agustín Hernández)

Criterios técnicos

Después de haber ocurrido el colapso en la cúpula, se procedió a realizar una serie de estudios para poder formular criterios técnicos, que permitan fundamentar la posibilidad de recuperación de dicha cúpula, considerando que la iglesia se empezó a deformar desde la primera etapa de construcción. Por lo que primero se consideró estudiarla a partir de la porción esférica que quedó de píe, luego se encontró un estudio realizado en el año 2003, por la empresa HP S.A. de C.V., cuando la Dirección General de Sitios y Monumentos del Patrimonio Cultural del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA), tenía planeado permear a varios monumentos del país, el conocimiento generado en el seno del Comité Técnico de la Catedral de México.

En función a la historia de la construcción, la última etapa corresponde a la reestructuración para hacer la gran cúpula de 15 m de diámetro y para asegurar su estabilidad, el Arq. Emilio Dondé, enrazó a nivel para desplantar el tambor e impedir que se incrementaran las deformaciones, mediante la aplicación de procedimientos constructivos seguros. Por ejemplo en el desplante del tambor (basamento), adicionó uno tirante perimetral de madera de 20 × 40 cm de sección, con una serie de ventanas en el perímetro para evitar que con el paso del tiempo se pudriera la madera, lo cual indica que estaba consciente del reto que implicaba construir esta gran cúpula y según las referencias, éste arquitecto mexicano era originario del Estado de Campeche y en ese momento era profesor de geometría descriptiva y composición arquitectónica de la Academia de San Carlos. Dicho perfil le permitió conocer a detalle todas las fases constructivas hasta la conclusión del objeto arquitectónico, donde las proporciones de todos los elementos estructurales expresan armonía entre sí.

Como se ha comentado, definir los criterios técnicos para conservar la cúpula central, actualmente constituye todo un reto técnico, por lo que para justificar cada aseveración, se decidió recurrir a las herramientas analíticas usuales en arquitectura. Dicha metodología puede constituir un importante ejemplo,

que se puede replicar durante el proceso que exige la recuperación de la arquitectura, con varios elementos dañados por sismos.

Nivelaciones

Según la caracterización geotécnica de la Ciudad de México, dicho monumento se localiza en la zona III, denominada lacustre, integrada por grandes estratos de arcilla de mucha compresibilidad, donde ocurren asentamientos importantes, es decir, que en ésta Iglesia construida en etapas, el suelo a través del tiempo ha experimentado un historial de cargas y deformaciones. En el ámbito profesional estas aseveraciones suelen determinarse a través de mediciones topográficas y en nuestro caso, decidí configurar la correspondiente al piso de feligresía, realizada durante el año 2003 y al interpretar la configuración de las curvas calculadas a cada dos centímetros, revela que la nave gira hacia el sur y la deformación entre los pilares es de 10 cm (figura 5).

Con el fin de investigar la magnitud de la deformación impuesta en los últimos años por el fenómeno de los hundimientos diferenciales, el día 3 de marzo del 2019, se realizó en el interior de la iglesia, una medición a nivel de plintos y debido al cambio de gradiente que exhiben las curvas en la frontera del muro sur, confirma que dicho muro sur desciende verticalmente y que el asentamiento de la estructura en los últimos 16 años, se ha incrementado 2,0 cm, es decir que el diferencial acumulado ahora es de 12,0 cm.

En ambas configuraciones el nivel 0,00 se estableció en la intersección de los ejes B-10, con el fin de tener un patrón de elevaciones con signos negativos para asociarlo directamente al asentamiento.

Desplomos

En la Ciudad de México, debido a la heterogeneidad del suelo, los inmuebles suelen presentar asentamientos de manera diferencial, capaces de ocasionar deformaciones importantes que pueden motivar la ruina de una estructura, cuando ocurre un sismo de intensidad importante.

En las plomadas del 2003, se observa que el eje longitudinal norte gira hacia el sur 4,202% y el eje

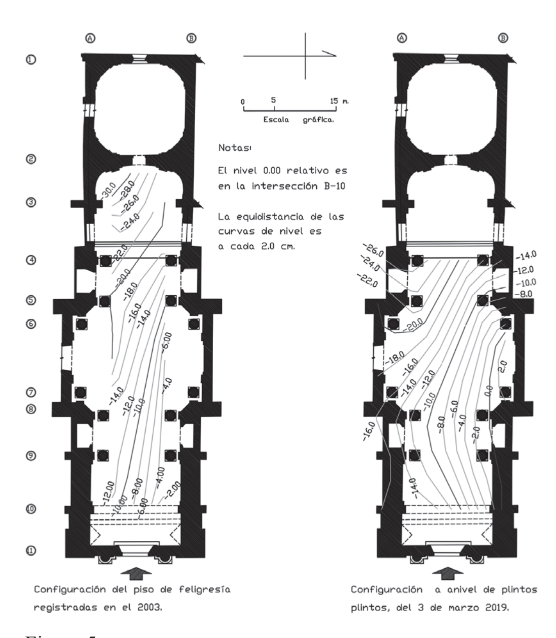


Figura 5
Nivelaciones topográficas (dibujos elaborados por Agustín Hernández Hernández)

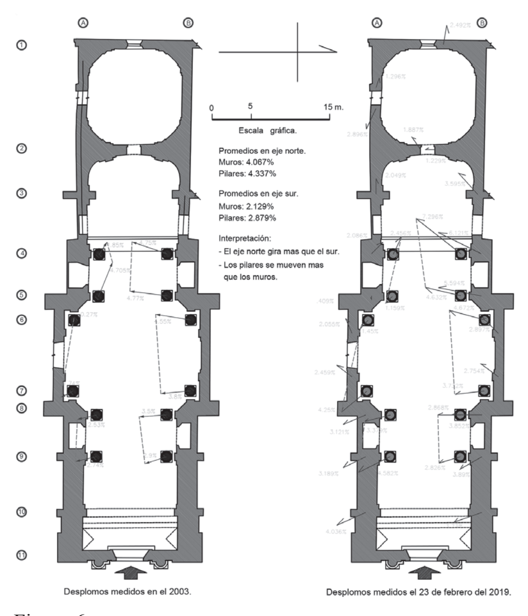


Figura 6
Mediciones de desplomos (dibujos elaborados por Agustín Hernández Hernández)

sur gira con una menor intensidad de 2,504% en la misma dirección. Con esta interpretación se deduce que el problema de estabilidad que aqueja a la estructura es transversal.

El día sábado 23 de febrero se realizó una medición de desplomos por el interior usando una niveleta CRAFTSMAN de 1,22 m de longitud, con la intención de identificar alguna variante y de conocer el desplomo de los muros de mampostería, respecto al de los pilares construidos casi un siglo después (figura 6).

Al analizar los vectores, se deduce que los pilares se han movido más que los muros, ello advierte que es necesario mejorar la liga entre ellos con los muros, los cuales requieren consolidarse para que ofrezcan mayor estabilidad al conjunto. En la zona del crucero este requerimiento solicita mayor énfasis en sentido longitudinal donde existen dos arcos formeros, uno paralelo a los pilares y otro sobre el muro de mampostería que vale la pena integrarlos para incrementar acción de contrarresto.

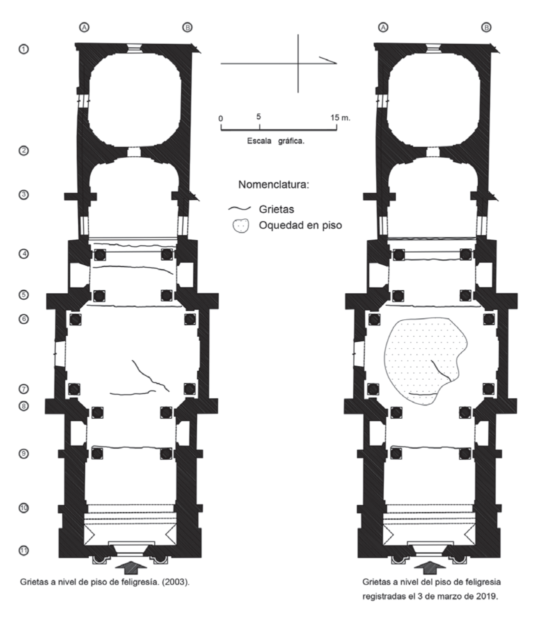


Figura 7
Grietas en piso de feligresía (dibujos elaborados por Agustín Hernández Hernández)

No todo está perdido

Después de la tarde del domingo 24 de septiembre de 2017, cuando ocurrió el colapso en la cúpula, surgió inmediatamente la disyuntiva a nivel administrativo y técnico sobre conservar o demoler dicha estructura. El dilema ha permanecido, probablemente porque también se requiere establecer de manera específica el procedimiento a ejecutar ante cualquier escenario, sin embargo, ésta situación lleva más de un año y medio. Particularmente considero que, definitivamente no puede continuar así.

Como estrategia para sensibilizar a la gente que la conservación de la cúpula es posible, se recurrió a formular interpretaciones tanto de las mediciones como de los registros realizados durante el año 2003, (figura 7), con el fin de poder formular una evaluación actualizada con las mediciones del 2019; aplicando una metodología práctica para facilitar la investigación y fundamentar los criterios sobre dicho monumento, que arquitectónicamente es digno de mucha consideración.

En este momento lo más impactante del monumento es la zona de la cúpula, sin embargo, el registro de grietas identificas por el intradós de las bóvedas durante el año 2003, indican que desde hace 16 años la porción sur de la cúpula, era la más agrietada,

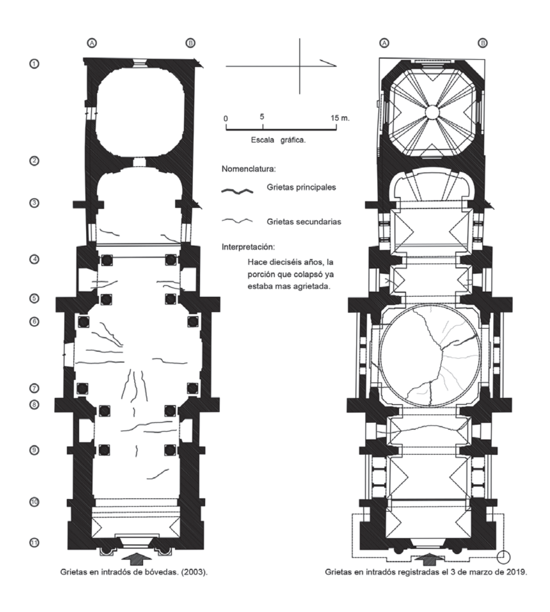


Figura 8
Grietas en intradós de las cubiertas (dibujos elaborados por Agustín Hernández Hernández)

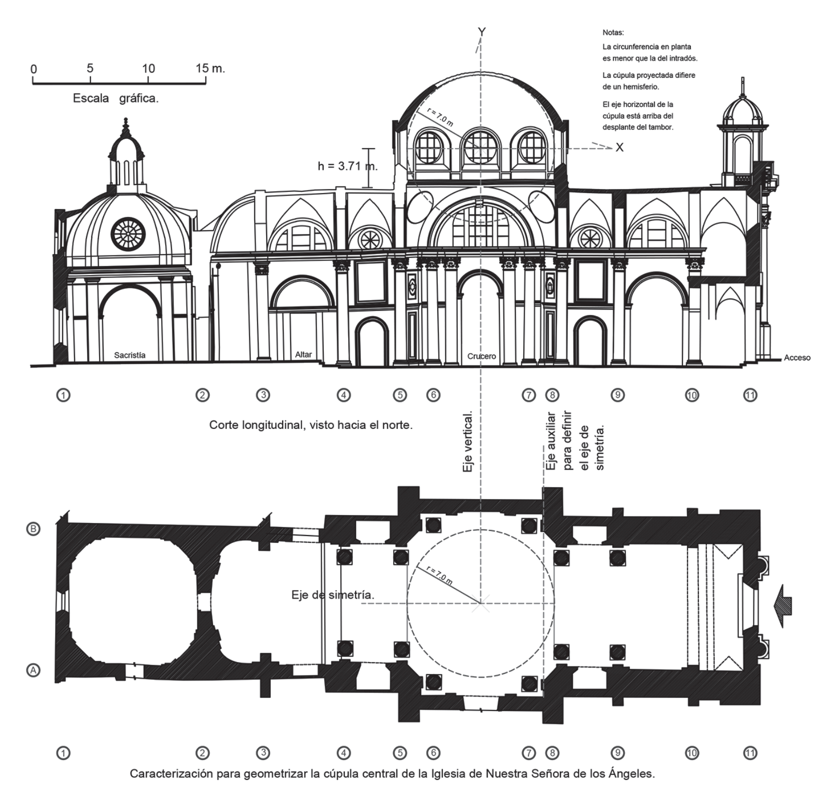


Figura 9
Geometrización para caracterizar la cúpula (dibujos elaborados por Agustín Hernández Hernández)

por lo tanto, la que presentaba mayor riesgo de colapso (figura 8).

Para empezar a comprender la forma construida, de la elegante cúpula de 15,0 m, de diámetro, primero se analizó la traza de la zona central y se identificó que los elementos con menor esviaje eran los muros, por lo que a partir de ellos se estableció el eje de simetría para proceder a trazar en la planta, una circunferencia tangente a la trayectoria de los arcos formeros donde gravita la cúpula, con el fin de usarla como directriz de la superficie. Sin embargo, al proyectarla en alzado, se descubrió que la magnitud del hemisferio era insuficiente. Este fantástico hallazgo, indicó que la cúpula si tiene un tambor de 3,71 m, de altura a partir del extradós de las bóvedas, a pesar de que visualmente aparenta lo contrario (figura 9).

Después se decidió profundizar en conocer la estereotomía de la cúpula y se realizaron distintas series de mediciones directas, desde el arranque del tambor, con un disto láser LEICA modelo S910, el cual permitió configurar el perfil de cada nervadura en verdadera forma y magnitud. Asimismo al proyectarlas en la planta se identificó que la número 2, conserva mejor su geometría respecto a las aristas de un octágono regular trazado como elemento auxiliar (figura 10).

Este levantamiento realizado el 23 de febrero del presente año, permitió también dibujar la planta del desplante del tambor, donde de manera rápida se puede identificar que faltan dos de ocho macizos, es decir sólo el 25% y que además se pueden construir de manera inmediata sin cimbra.

Con el fin de avanzar en la geometrización se dedujo que el Arq. Emilio Dondé, construyó con buena fábrica, una cúpula de directriz circular de 7,50 m de diámetro, la cual se deformó con el paso de los años.

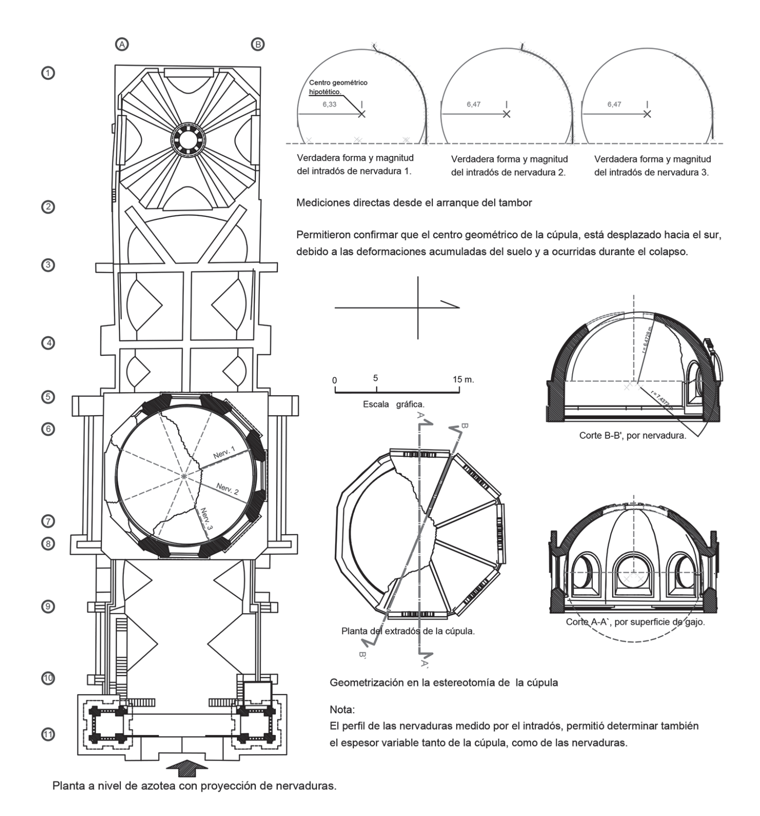


Figura 10
Proceso de investigación para definir la estereotomía de la cúpula (dibujos elaborados por Agustín Hernández Hernández)

Por lo que al analizar la porción que queda, de manera preliminar podemos decir que ha perdido su geometría inicial y sólo una pequeña parte contigua al arranque se aprovecharía, sin embargo recurriendo las teorías sobre resistencia por forma, la forma natural, la forma adecuada y la forma impuesta que acuñó nuestro querido maestro el Dr. Fernando López Carmona, es posible aprovechar lo que queda de cúpula en el espacio.

Acorde a las enseñanzas del maestro, en nuestra experiencia sobre cómo resolver éstos casos. Su consejo sería, adecuarse a la geometría impuesta, por lo que resulta razonable conservar la porción que queda de la cúpula.

Ahora para ajustar la geometría a partir del eje de la cúpula, se propone aprovechar la virtud de funicular que brinda la parábola a cargas uniformemente repartidas, colocando dicha curva tangente a ambas porciones que quedan de la superficie cupular de doble curvatura. Como se puede observar, ésta nueva geometrización puede con una familia de rectas en el espacio.

Conclusión

- La causa del problema de la cúpula, son los hundimientos diferenciales. Por lo que resulta razonable mejorar la conducta del suelo mediante inyecciones de mortero para poder diseñar una recimentación, que complementaría al refuerzo que colocó entre 1907 y 1911, el Ing. Eduardo Mancebo.
- Mejorar estructuralmente la liga en sentido transversal de la iglesia, entre los pilares, arcos y muros de mampostería.

- Consolidar el sistema de muros para aportar continuidad y mejorar su capacidad a esfuerzo cortante.
- Reconstruir la porción de cúpula, ajustando su geometría para que trabaje por forma, de manera que predominen esfuerzos de compresión.
- Reconstruir la linternilla conservando sus proporciones, pero con un material pétreo de menor peso específico.

Un tema no menos importante que preocupa es el tan conocido peligro de la flora parásita, que desde el 2017, ha proliferado en la cubierta y que poco a poco invade y acecha desde las juntas para agrietar e invadir de manera gradual a los componentes estructurales, de tal forma que las poderosas raíces de las hierbas, cada día están perforando y pueden llegar a estallar dicho monumento.

Lista de referencias

Creixell del Moral, José. 1992. *Estabilidad de las construcciones*. México, D.F.: Edit. Reverté Ediciones, S.A.

García del Valle y Villagrán, Gabriel. 1993. *Introducción al estudios de la edificación*. México D.F.: Facultad de Arquitectura, UNAM.

López Carmona, Fernando y Agustín Hernández H. 2017. *Proyecto de corrección geométrica. Catedral y Sagrario Metropolitanos*. México D.F.: Facultad de Arquitectura UNAM.

Santoyo Villa, Enrique. 1995. *Reporte de investigación sobre estabilización de s*uelos. México. TGC.

Tonda Magallón, Juan Antonio. 1987. *Cascarones de concreto*. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Tovar Alcázar, Rosario. 2016. *La cal, ciencia, técnica y arte*. Edit. Trillas.

Villasante Sánchez, Esteban. 1995. *Mampostería y construcción*. Edit. Trillas.

El arco límite: breve historia de un problema estructural

Santiago Huerta

La estabilidad de un arco de fábrica depende de su forma. Para un perfil dado, de su espesor. Proyectar un arco seguro es darle una forma y un espesor adecuado. Por supuesto, esto lo sabían antiguos constructores desde los inicios d ela construcción abovedada. Basta con mirar los levantamientos de las antiguas tumbas. Los primeros proyectos se hicieron «a ojo»: el maestro definía la forma y elegía el espesor. Siglos, milenios, experiencia acumulada llevaron a una seguridad en el proyecto que resulta evidente en las grandes bóvedas de la Antigüedad. Finalmente, debió haber una codificación sencilla basada en reglas simples de proporción. Para un arco de una cierta luz, el espesor era una fracción simple. La observación, por ejemplo, de los puentes romanos conduce a espesores entre 1/10 y 1/15 de la luz. De echo, la primera fuente documental de una regla de proyecto para arcos de puentes aparece ya en el tratado de Alberti, escrito hacia 1450 (publicado en 1485), que propone como regla 1/15 de la luz. Palladio en sus cuatro libros de arquitectura publicados en 1570 da dimensiones de cuatro puentes, dos existentes y dos proyectos, que incluyen, implícitamente, reglas de proporción: los espesores están entre 1/10 y 1/17 de la luz. Cuando el ingeniero francés Gautier publica en 1716 su primer tratado de puentes cita observaciones de puentes romanos y, finalmente, se decide por la regla de 1/15 que se observa en los grandes arcos del acueducto romano del Pont du Gard (curiosamente no cita a Alberti). Guatier incluye una primera lista de puentes con sus dimensiones, acompañada de alzados de varios de ellos. Este tipo de listas aparecen después en todos los tratados de puentes de fábrica y se emplean para la verificación de las distintas reglas de proyecto. Las reglas eran, por supuesto, conservadoras. Algunos puentes tardo-medievales y renacentistas son de proporciones mucho más esbeltas: el puente de Vielle Brioude, construido en 1454 con 54,6 m de luz 1/28 y el puente de Rialto en Venecia (28,8 m), 1588-1591, 1/37. El mayor arco de piedra construido antes del siglo XX fue el puente sobre el Adda de Trezzo, 1360-70, con una luz de 72 m, presenta una relación de 1/35 (el puente daba acceso a una fortaleza y fue demolido por motivos militares).

El espesor de un arco bien proyectado debe ser adecuado: si es grueso en exceso se desperdicia material; si es demasiado esbelto, se vuelve inseguro y puede colapsar. Las reglas tradicionales recogen ese espesor adecuado, suficientemente seguro. Se llegó a estas reglas mediante la experiencia, pero no una experiencia ciega de prueba-error. Ningún constructor levanta una gran obra «a ver si hay suerte y no se cae». Los maestros sabían que la clave era buscar la geometría correcta: la observación crítica de obras construidas, la interpretación de las grietas y movimientos durante la construcción y, muy probablemente, el empleo de modelos a escala, les permitieron desarrollar una teoría cuya validez queda demostrada por la mera supervivencia a lo largo de siglos, o milenios, de sus fábricas.

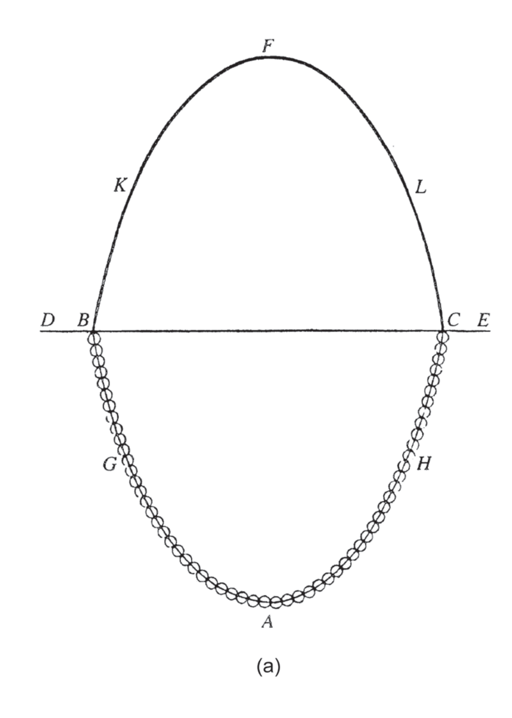
La idea de un espesor seguro implica que hay espesores que son inseguros. ¿Qué pasa si hacemos un arco demasiado esbelto? Si el arco tiene un espesor insuficiente para su forma y tamaño se hunde. El colapso, curiosamente, no se produce por rotura del material: se abren grietas en determinadas partes, el arco se vuelve inestable y se cae. No es fácil deducir la naturaleza exacta del colapso, pues el arco se hunde inmediatamente después de descimbrar, pero las conclusiones del ensayo están claras: la forma era inadecuada o el espesor insuficiente, y hay que modificar la geometría del arco.

Las reglas tradicionales, pues, nunca se ocuparon de las proporciones de colapso de las estructuras. Es sólo cuando aparece la teoría científica que trata de entender el funcionamiento de los arcos dentro de las leyes de la mecánica, que se empieza a plantear la forma en que se hunden los arcos.

Hooke y Gregory. La catenaria invertida y el arco equilibrado

El primer análisis correcto de la estabilidad de un arco fue formulado por Robert Hooke. Hooke, además de un gran científico fue un arquitecto de gran experiencia. Trabajó como mano derecha de Christopher Wren en la reconstrucción de la City de Londres tras el devastador incendio de 1666, actuando como City Surveyor (Wren era Royal Surveyor). Durante años peritó numerosos edificios, y proyectó y construyó varias iglesias y edificios, así como el Monumentum, una enorme columna de 62 m de alto construida a la memoria de las víctimas del gran incendio (su interior hueco quiso ser usado por Hooke como un enorme telescopio astronómico; fracasó por las pequeñas vibraciones inherentes a una torre esbelta).

En 1675, al final de un libro sobre helioscopos, publicó en forma cifrada su solución al problema del equilibrio de los arcos: «Del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así, pero invertido, se sostendrá el arco rígido», Figura 1 (a). La estática de cables y arcos es la misma. Hooke no era un gran matemático (como Newton) y fue incapaz de obtener la forma geométrica de un cable colgante, la «catenaria», pero lo crucial fue ver la transmisión de los empujes dentro del arco usando la analogía de la catenaria (Heyman 1972). Más tarde propuso la parábola cúbica como forma ideal para el perfil de una cúpula y esta forma fue empleada por Wren para la cúpula interior de San Pablo (Heyman 2015).



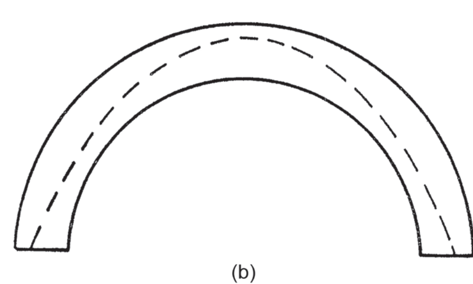


Figura 1
(a) Principio de la catenaria invertida para los arcos; (b) Arco seguro con una catenaria invertida en si interior (Heyman 1999)

El anagrama de Hooke no fue descifrado hasta después de su muerte. Waller en su recopilación de escritos da la solución a este y otros textos cifrados de Hooke. Sin embargo, debió haber alguna «filtración» de sus ideas, a pesar de su afán de secreto. En 1698 David Gregory publica el primer artículo sobre la forma matemática de la catenaria (sin conseguirlo, la expresión correcta la obtendría Bernoulli pocos

años más tarde). Pero en el texto incluye un corolario a su teoría que parafrasea la sentencia de Hooke: «Sólo la catenaria es la forma legítima de un arco». De manera crucial prosigue «… y si arcos de otras formas se sostienen es porque hay una catenaria en su interior. Y tampoco se sostendrían si fueran muy delgados o estuvieran compuestos por piezas deslizantes», Figura 1 (b). Gregory menciona explícitamente la necesidad de un cierto espesor para los arcos usuales de formas no-catenarias, pero no realiza cálculos en este sentido. El texto de Gregory aparece citado por primera vez en el contexto del proyecto de arcos y bóvedas, en el libro de Samuel Ware (1809), quien tampoco realiza cálculos sobre el espesor mínimo o límite para que el arco contenga a la catenaria invertida.

En la segunda mitad del siglo XVIII algunos matemáticos e ingenieros ingleses (Emerson, Hutton) se afanaron en buscar la forma de un arco para unas cargas dadas, Figura 2(b), o el problema inverso de cuál deben ser las cargas para que la cadena colgante adopte una cierta forma, Figura 2 (a). En todos los casos, sin embargo, las fuerzas internas en el arco, los empujes, se transmitían por la línea de intradós, y se llamó al arco «arco equilibrado».

Evidentemente, el arco sólo estaba en equilibrio para unas cargas dadas; su equilibro era, por tanto, inestable pues cualquier variación en la distribución de las cargas conduciría a la separación de la curva del equilibrio del arco. Pasaron varios decenios hasta que esta crítica se hizo patente. El ingeniero escocés John Robison en su artículo «Arch» para la Enciclopedia Británica (1801) llamó la atención sobre este grave defecto de la teoría y señaló que el arco debía tener un espesor suficiente para que la curva de equilibrio se pudiera «mover» en su interior. Esto sólo era posible gracias al rozamiento, que permitía una cierta inclinación de los empujes respecto a las juntas. Robison tampoco fue capaz de definir el espesor necesario.

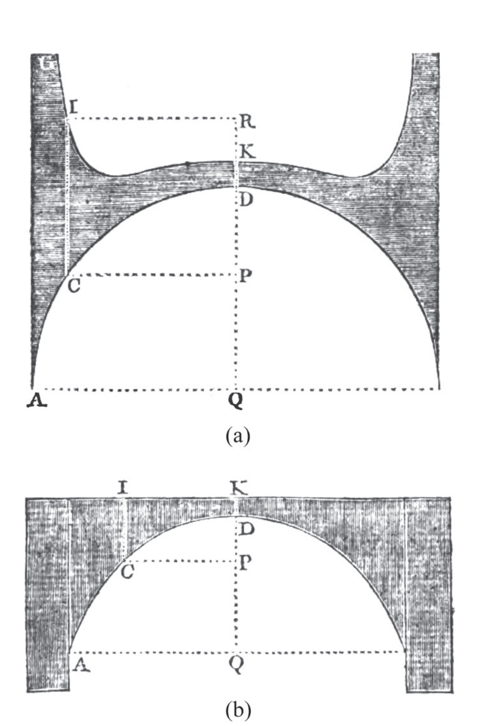


Figura 2
(a) Arco equilibrado para trasdós horizontal; (b) Carga para un arco equilibrado de medio punto (Hutton 1772)

Thomas Young

Fue Thomas Young quien abordó el problema por primera vez. Habiendo empezado su carrera como médico, científico y filólogo, se interesó por los problemas técnicos al impartir un Curso de Conferencias sobre Filosofía Natural y sus Aplicaciones (las conferencias se impartieron en 1803-4 y fueron publicadas en 1807 en dos gruesos volúmenes). En la conferencia sobre «Arquitectura» discute el equilibrio de los arcos y recoge las críticas de Robison. De manera mucho más clara razona la necesidad del rozamiento y de un cierto espesor, para garantizar la estabilidad de los arcos. El fracaso de público de sus Conferencias le llevó a volver a su trabajo como médico y a publicar en muchos casos con diferentes pseudónimos. No obstante, Young mantuvo su interés por los problemas técnicos y realizó grandes avances en varios campos de la ingeniería. Gustaba de atacar y resolver problemas difíciles y en 1807 publica, anónimamente, un artículo sobre los arcos triangulares que se observan en algunas ruinas arqueológicas (Micenas). Este artículo, que se discutirá en lo que sigue, supone un avance formidable, asombroso, en la comprensión del problema del equilibrio de los arcos. No puedo menos de citar esta carta dirigida a su gran amigo Hudson Gurney

que refleja, a mi modo de ver, el auténtico carácter del investigador:

> Me gusta una investigación profunda y difícil cuando resulta que la he hecho fácil para mí mismo, si no para todos los demás; y hay un espíritu de juego en esto, ya sea que, como al arrojar un dado, un cálculo a ciegas produzca un resultado hermoso y perfecto, o sea totalmente desechado. Las investigaciones científicas son una especie de guerra, que se lleva a cabo en el despacho o en el sillón, contra todos los contemporáneos y predecesores. A menudo he obtenido una victoria cuando he estado medio dormido, pero con mayor frecuencia he descubierto, al estar completamente despierto, que el enemigo todavía tenía ventaja cuando pensaba que lo tenía acorralado. Y todo esto, querido amigo, es lo que me mantiene vivo. (Peacock 1855)

Por supuesto, el análisis de arcos triangulares obligó a Young a separarse de la superficie de intradós: las fuerzas internas deben seguir un camino distinto por el interior de las piedras o ladrillos. Con su habitual enfoque heterodoxo y críptico, analiza los dos modos básicos de colapso, por formación de rótulas y deslizamiento en cabeza, obteniendo valores aproximados de los valores de los espesores límites., Figura 3. Se trata de una proeza intelectual y se adelanta casi 40 años a Barlow (1846) que plantea y resuelve los mismos problemas.

Por otra parte, descubre que la curva de equilibrio de un arco plano es una parábola y aplica este descubrimiento también al cálculo de espesores límites de arcos. Razona que si la carga que soporta el arco es sensiblemente uniforme (por ejemplo, un arco de puente donde el relleno horizontal tiene gran altura; un arco de ventana en un muro) la curva de equilibrio será muy aproximadamente una parábola y el arco debe tener el espesor necesario para contenerla. No da el desarrollo pero obtiene los valores correctos de los espesores límites (para carga uniforme) de un arco semicircular (1/13) y de un arco apuntado formado por dos ramas de parábola (1/24) (esta forma de arco aparece en numerosos manuales de construcción de la segunda mitad del siglo XVIII como una aproximación al arco Tudor de varios centros) localizando correctamente las juntas de rotura (Figura 4). Thomas Young da en este artículo, como es habitual

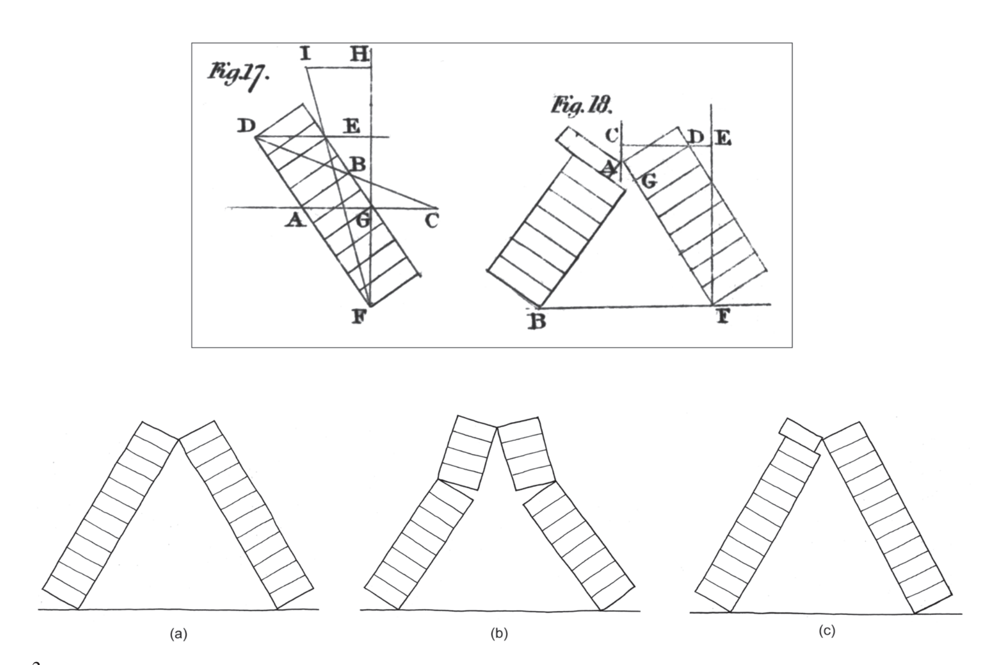


Figura 3
Estudio del colapso de arcos triangulares. Arriba: análisis de Young (1807). Abajo: formas de colapso estudiadas por Young (Huerta 2012)

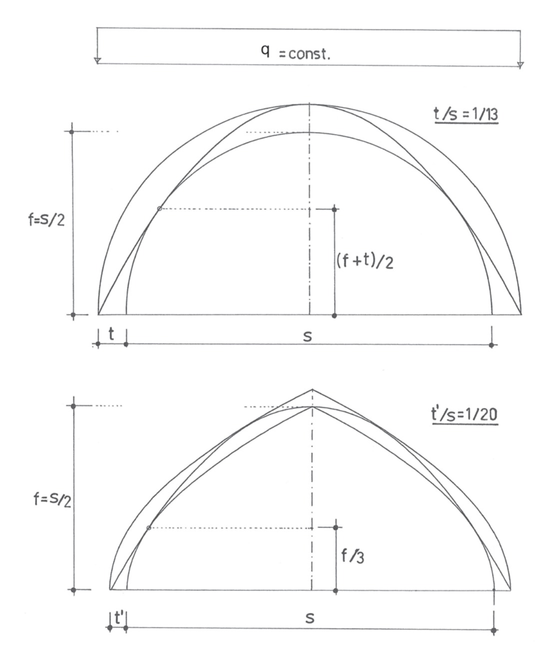


Figura 4
Arcos límite calculados por Thomas Young en 1807 (Huerta 2012)

en él, un paso de gigante y plantea y resuelve problemas con varios decenios de anticipación. Pero su artículo, escrito en una prosa difícil, extremadamente sintético, críptico, no tuvo ninguna repercusión y ha sido ignorado hasta la actualidad (Huerta 2012).

El colapso de arcos. La Hire, Danyzy y Couplet

Los ingenieros franceses atacaron el problema de la estabilidad de los arcos con otro enfoque. La Hire en su memoria de 1712 observó que, en las ruinas, cuando se había hundido una bóveda de cañón, quedaba el arranque de la bóveda adherido al muro. Supuso, entonces, que era la parte superior la que empujaba contra el sistema de contrarresto (muro más arranque) y que en el momento del colapso se abrían las «juntas de rotura». El empuje de la parte superior se concentraba en el intradós de la junta de rotura y como este empuje era función del peso de la parte superior y debía ser tangente (este aspecto se discutirá más adelante), conocida la posición de la junta de rotura se podía calcular el valor del empuje y verificar la seguridad del estribo, Figura 5 (a) y (b). De hecho, el cálculo iba dirigido a verificar el estribo. Bélidor (1729) simplificó la teoría de La Hire haciéndola asequible: la junta de rotura estaba a 45°, el empuje en el centro de la sección y su dirección tangente a la línea media, Figura 5 (c). Además, dio una interpretación mecánica del colapso: la parte superior deslizaba sin rozamiento sobre las juntas de rotura y producía de esta manera el empuje lateral. Que este modo de colapso era imposible dado el elevado rozamiento entre piedras (ángulos de rozamiento entre 30°-40°) era evidente. Pero la teoría La Hire-Bélidor daba valores del espesor de los estribos acordes con la práctica y permitía a los ingenieros dar «rigor científico» a sus cálculos. De cualquier

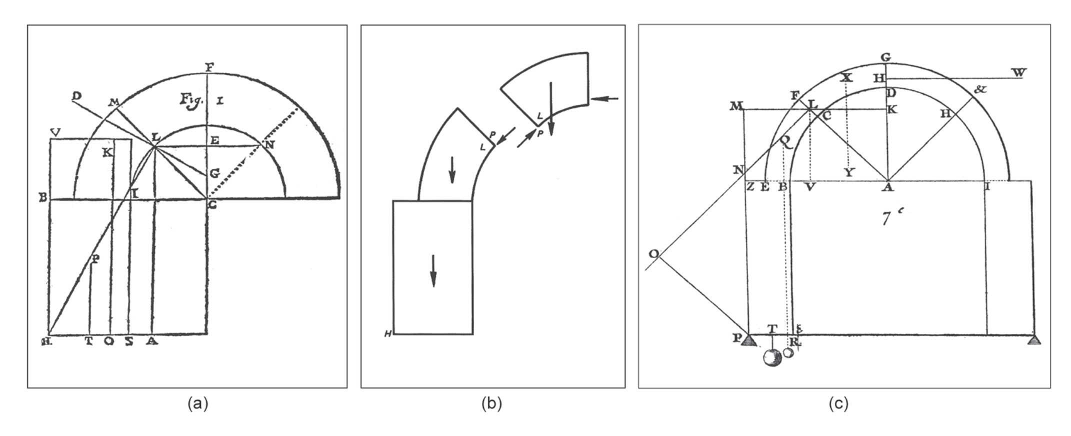


Figura 5
(a) Análisis de La Hire (1712); (b) Interpretación de Heyman (1972); (c) Simplificación de Bélidor (1729)

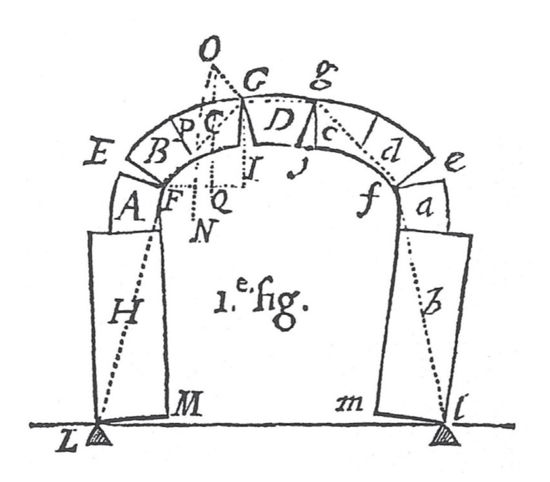


Figura 6
Uno de los arcos ensayados por Danyzy (1732)

forma se consideraba que el despreciar el rozamiento iba a favor de seguridad.

Pronto otros arquitectos e ingenieros indagaron en el problema. Danyzy demostró en 1732 mediante ensayos sobre modelos que el rozamiento evitaba el deslizamiento y que el colapso se debía a la formación de grietas que «articulaban» conjuntos de piedras entre sí formando un mecanismo de colapso, Figura 6. Los ensayos fueron publicados por Frézier (1739) pocos años después (Huerta 2004).

No obstante, poco antes, Couplet, en su segunda memoria sobre el empuje de las bóvedas, publicada en 1730, ya reconoció que el rozamiento impedía el deslizamiento y que el fallo se debía a la formación de articulaciones. En particular, se planteó el problema de cuál es el espesor mínimo que debía tener un arco semicircular para ser estable (sometido a su propio peso). Correctamente, imaginó que se formaría una grieta en la clave en el trasdós, dos en el intradós en los riñones y otras dos en los arranques en el trasdós. Fijó la junta de rotura del intradós a 45°. Escribió la ecuación de equilibrio en función del espesor (una ecuación cúbica) y obtuvo para un arco de 28 pies de espesor un espesor límite de 1,4866-1,4865 pies, esto es, un espesor de *l*/18,83, siendo *l* la luz, Figura 7 (a). (La junta real se produce no a 45° sino más abajo y este valor no es exacto, como se verá más adelante.) El espesor se compara razonablemente con los de las reglas de proyecto *l*/15-*l*/12, es menor, pero del mismo orden.

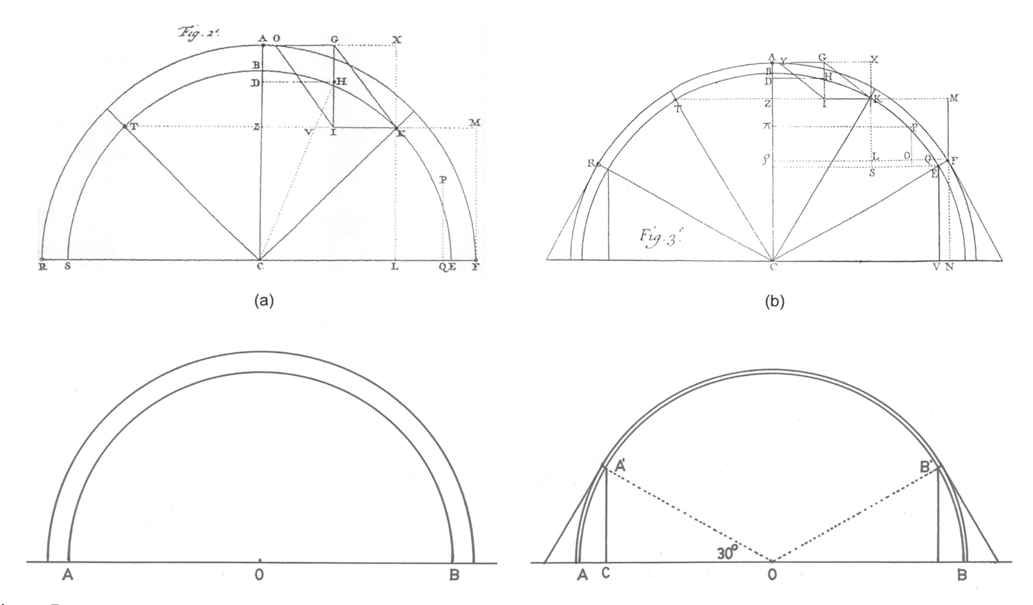
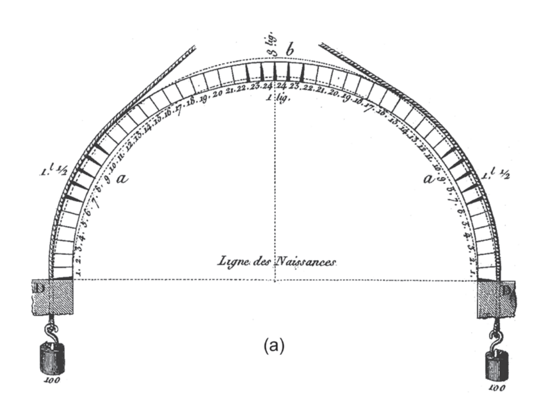


Figura 7
Análisis límite de arcos de Couplet (1730): (a) y (b) Figuras originales; abajo, proporciones límite (dibujo del autor)

A continuación se plantea el problema del espesor límite de un arco circular rebajado de 120° de apertura. Para el mismo radio del intradós del caso anterior, $r = 14$ pies, obtiene un espesor de 0,276-0,275 pies. Si hallamos, a la manera tradicional, la relación entre el espesor y la luz ($2\ r \cos 30$), llegamos a la proporción $l/87,8$, Figura 7 (b). Ahora, el espesor es casi cinco veces menor de los observados en puentes reales.

En su memoria, Couplet, comenta los valores obtenidos. Desde luego, el espesor es en el segundo caso muy pequeño. Couplet señala que espesores muy pequeños se observan también en las plementerías de las bóvedas, y que esto corrobora sus cálculos. No obstante, recomienda duplicar el espesor el arco para evitar los fallos locales (por resistencia) en las articulaciones.

A finales del siglo XVIII, Boistard realizó una serie de ensayos sobre grandes modelos de arcos de 2,60 m de luz. Todos los modelos estaban formados por dovelas de 1/24 de la luz de espesor y, en efecto, el modelo de arco semicircular colapsaba nada más descimbrar, y Boistard tuvo que colocar una cuerda para «congelar» el colapso y localizar la apertura de grietas, Figura 8 (a). Sin embargo, cuando el arco del mismo espesor estaba trasdosado horizontalmente era estable y había que aplicar una carga adicional en la clave para producir el colapso, Figura 8 (b) (Heyman 1982).



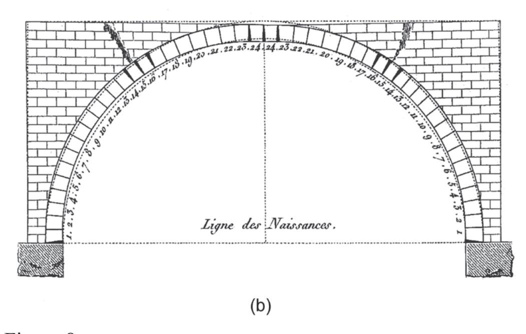


Figura 8
Ensayos de colapso sobre arcos de 2,60 m de luz (Boistard 1810)

Máximos y mínimos: El enfoque de Coulomb

En 1773 Coulomb publica una memoria fundamental sobre la «Aplicación del método de máximos y mínimos para resolver algunos problemas de la arquitectura». Trata cuatro problemas: la resistencia de las columnas, la flexión de las vigas, el empujes de los suelos y el empuje de los arcos. En esta última parte, hace un primer desarrollo suponiendo que no hay rozamiento y termina explicando la forma de hallar la junta de rotura aplicando el método de máximos y mínimos. Contempla el colapso por deslizamiento y por formación de articulaciones, pero señala que el primero es muy raro en arcos de proporciones habituales. No da ningún ejemplo de aplicación y la memoria permaneció en el olvido durante casi 50 años.

Hacia 1805 un ingeniero español, Joaquín Monasterio, escribe una «Nueva teórica sobre el empuje de las bóvedas» que nunca se llegó a publicar. En ella desarrolla la teoría de Coulomb y la aplica a todos los modos posibles de colapso, por deslizamiento, rótulas y mixtos. La memoria permaneció inédita hasta hace pocos años. Monasterio estudia también el problema del arco límite, citando a Couplet. Escribe las ecuaciones y acota el espesor del arco límite entre $l/16$ y $l/18$. Señala que el espesor obtenido por Couplet $l/18,83$ es incorrecto y que esto se debe a haber fijado arbitrariamente la junta de rotura a 45°, que él ha obtenido a 55° desde la clave.

Quien difundió la teoría de Coulomb fue el ingeniero francés Audoy que publicó en 1820 una larga memoria en la que la recupera y expande, aplicándola a numerosos ejemplos prácticos. (También trata por primera vez la seguridad de los estribos.) Audoy supone, arbitrariamente, que se producen juntas de rotura en la clave y en los arranques; el problema se reduce entonces a hallar la posición de la junta de rotura en los riñones. La hipótesis es cierta en muchos

casos, pero no en todos, como se verá más adelante. Audoy menciona el problema del arco límite de mínimo espesor, localiza la junta de rotura a unos 54° de la clave, pero para el espesor sólo obtiene un intervalo grosero, entre *l*/13 y *l*/20.

La memoria de Audoy ejerció una considerable influencia y en los siguiente decenios varios ingenieros franceses aplicaron el método de Coulomb para estudiar el colapso de las bóvedas y elaborar tablas. Merece destacarse la de Petit (1835) que da valores para bóvedas geométricamente similares. Petit se plantea el problema del espesor mínimo de un arco «para que pueda sostenerse sobre sus arranques», el espesor límite. Para el arco semicircular de espesor constante, el problema de Couplet, obtiene un espesor límite *l*/17,544, valor muy aproximado al exacto. Petit obtiene también el espesor límite para un arco semicircular trasdosado horizontalmente, véase Fig. 8 (b), obteniendo un valor de *l*/46.

Líneas de empuje y arcos límite: Méry

Como se ha visto Young fue el primero en emplear el concepto de línea de empujes, la trayectoria de las cargas dentro del arco, para calcular el espesor límite de arcos. La teoría completa de líneas de empujes fue desarrollada por el propio Young en 1816, cuando escribió su artículo «Bridge» para la Encyclopaedia Britannica, finalmente publicado en 1817. Firmado anónimamente no tuvo repercusión alguna. Más tarde, de forma independiente Gertsner (1831), Moseley(1835) and Méry (1840) desarrollaron, con distintos enfoques, la idea de la línea de empujes.

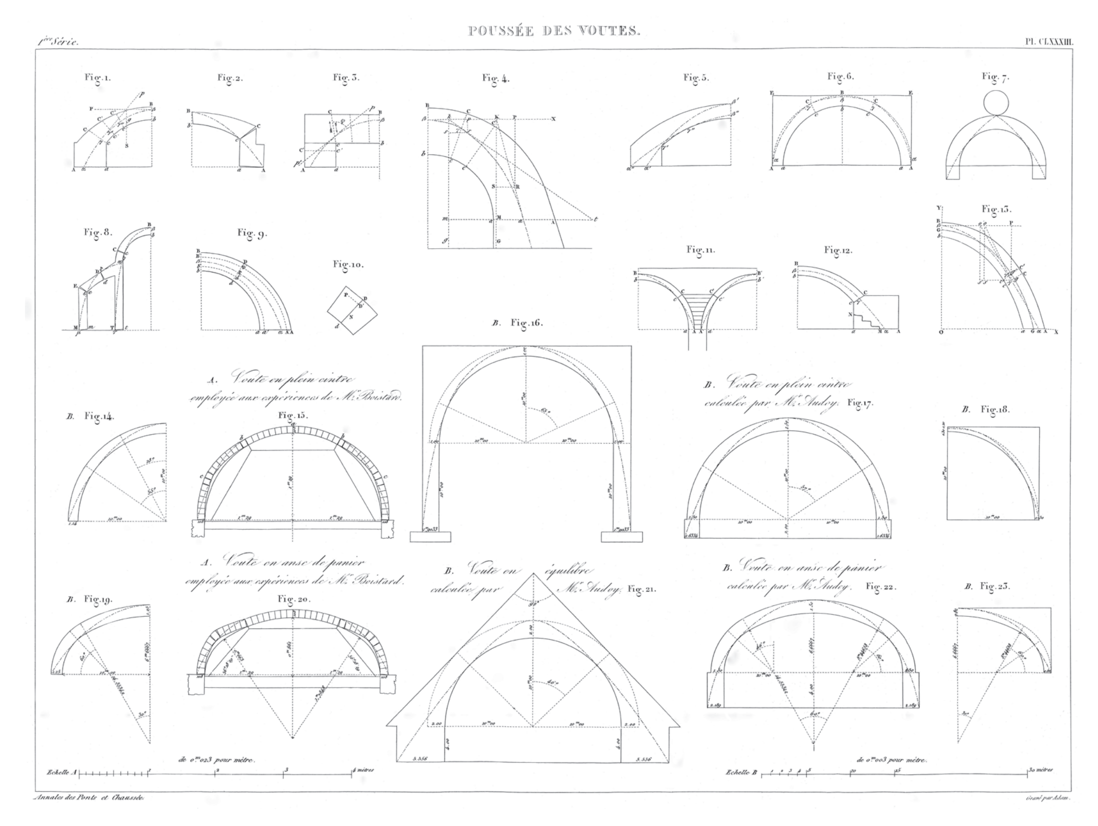


Figura 9
Lámina de la memoria de Méry (1840)

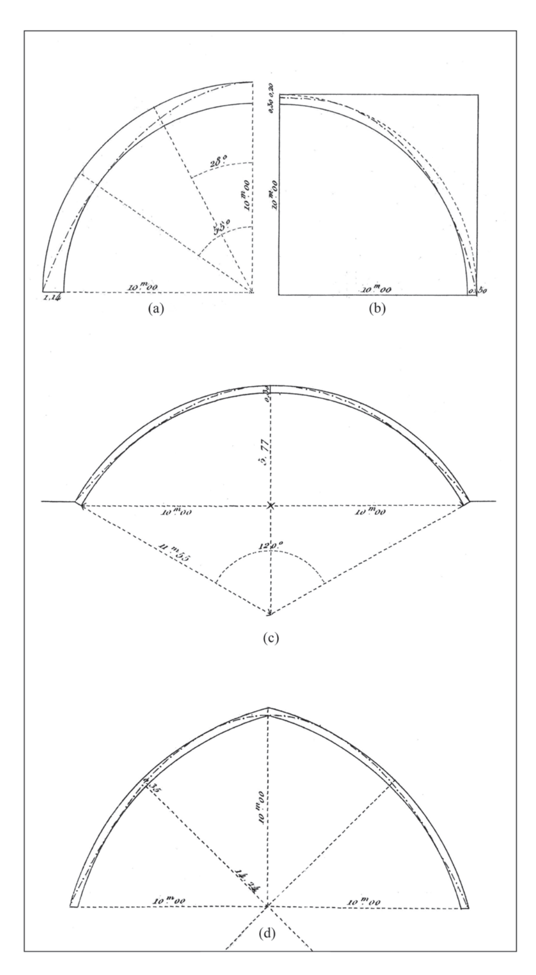


Figura 10
Arcos límite calculados por Méry (1840)

Fue Méry quien aplicó de manera sistemática la idea de línea de empujes para calcular los espesores límite de arcos de distintas formas y explícitamente dijo que este arco es el punto de partida del proyecto: conocido el arco límite sólo hay que regruesar el arco para que cumpla la condición de resistencia. La memoria estuvo precedida de un informe escrito sobre la seguridad de las bóvedas de un Hospital en Brest en 1828. Esta memoria fue publicada en 1862 en una oscura revista y no ejerció ninguna influencia. La memoria de 1840, por el contrario, tuvo gran repercusión en todos los países francófonos que, todavía hoy, llaman al método de líneas de empujes, el «método de Méry». En su texto, Méry expone con gran claridad el concepto de línea de empujes y expone un método semigráfico (es preciso obtener analíticamente los centros de gravedad de las distintas partes del arco) para dibujarlas. Explica con claridad el carácter hiperestático de los arcos de suficiente espesor, es posible dibujar muchas (infinitas) líneas de empujes en su interior. Hay dos líneas de empuje que pueden obtenerse siempre, la de máximo y mínimo empuje; ambas líneas se confunden en una en el arco límite. La seguridad se obtiene regruesando el arco de manera que la tensión máxima en sus bordes no supere 1/10 de la tensión de rotura del material. La memoria se centra en el arco límite y Méry expone una gran cantidad de casos de arcos límite de diferentes formas, todos ellos dibujados a la misma escala para una luz de 20 m, Figura 9.

Méry debió hacer dibujos de gran tamaño y con extraordinario cuidado pues obtiene los espesores límite con precisión. Así, para un arco semicircular de 20 m obtiene un espesor de 1,14, esto es *l*/17,54, coincidiendo con la estimación de Petit Figura 10 (a). Por otra parte, señala que la hipótesis habitual de considerar una junta de rotura en la clave y otra en los arranques no se verifica para algunos tipos de arcos y cargas. Así, obtiene correctamente el modo de colapso para el arco semicircular trasdosado, donde la junta de rotura se forma cierta distancia de la clave Figura 10 (b). El valor del espesor límite, *l*/40, es mayor que el de Petit (esto es correcto, cuando las rótulas no ocupan la posición correcta se obtienen valores «inseguros» como le ocurrió también a Couplet). El hacer el arco rebajado reduce dramáticamente el espesor límite, Figura 10 (c), y Méry obtiene para el arco de 120° de Couplet un espesor límite de 1/67 de la luz (Couplet obtuvo 1/88; el valor correcto de Heyman es 1/75). Por otra parte, Méry dibuja por primera vez arcos límite apuntados, en los que el colapso, dada la distribución de las rótulas, se produce por levantamiento de la clave. Así, en el arco de la Figura 10 (d), con la misma altura que el semicircular, el espesor límite es 1/57 de la luz.

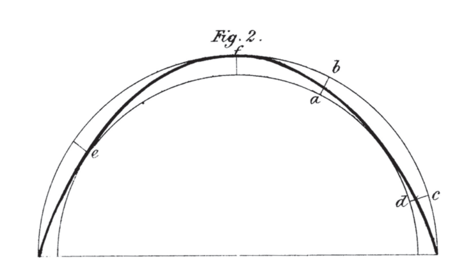
Como se ha dicho Méry considera el arco límite como punto de partida para el proyecto. Conocido dicho arco, afirma que sólo es preciso recrecer su espesor de manera que la tensión máxima no supere el décimo de la tensión de rotura de la fábrica del arco, *Fig. 9* en la Figura 11. Considera una distribución li-

neal parcial de tensiones sobre una zona de la sección, de manera que si la distancia del punto de aplicación del empuje al borde es *d*, la extensión de las tensiones cubre una porción 3*d* (véase el recuadro en la Figura 11 que he añadido para explicarlo). Méry no parece darse cuenta de que para fábricas y dimensiones normales esto deja la fuerza interna muy cerca del borde la fábrica y de que los arcos así proyectados tendrían una seguridad muy reducida, estando al borde del colapso.

Méry muestra en toda su memoria un conocimiento profundo del funcionamiento de los arcos. Así, señala que la «verdadera» línea de empujes no se puede conocer al depender de los pequeños asientos de los arranques. (Este asunto fue discutido extensamente en su informe de 1828 y estaba en los borradores previos del artículo pero, finalmente, fue eliminado del texto final.) Entiende perfectamente la analogía de la catenaria de Hooke. De hecho anticipa en más de cien años el método de peritar puentes de fábrica de Heyman, que se verá más adelante: «esta curva representa muy bien, en posición invertida, la cadena de un puente colgante. Cuando se coloca una carga pesada en un arco, la curva de presión toma diferentes formas sucesivamente, como lo haría una cadena de suspensión; y mientras sufre estas oscilaciones, todavía necesita permanecer encerrada entre el intradós y el trasdós del arco, para que éste no se caiga» (Méry 1840, 63). Esta observación crucial parece haber pasado desapercibida para todos los autores posteriores. En efecto, el estudio de la seguridad de un puente de fábrica implica el calcular el espesor límite para cada una de las posiciones posibles de la carga cuyo paso debe soportar. El espesor mayor es el que debe usarse para el proyecto.

Pocos años después Barlow (1846) publicó otra artículo sobre líneas de empujes. Su intención era «demostrar la existencia en la práctica de la línea de empujes». Para ello ideó una serie de ingeniosos modelos. Algunos de ellos eran arcos límite y Barlow juagaba con la posición de las juntas para demostrar que, en efecto, el colapso sólo se producía cuando la posición de las juntas coincidía con los puntos de tangencia de la línea de empujes con las líneas de intradós y trasdós. Ideó un sistema gráfico de dibujo de líneas de empujes y lo aplicó al cálculo de varios arcos límite. También verificó experimentalmente la coincidencia de la línea de empujes y la catenaria para un arco de medio punto, Figura 12.

Figura 11
Proyecto de arcos de fábrica; el recuadro modifica la figura de Méry para explicar la distribución de tensiones supuesta (Méry 1840)



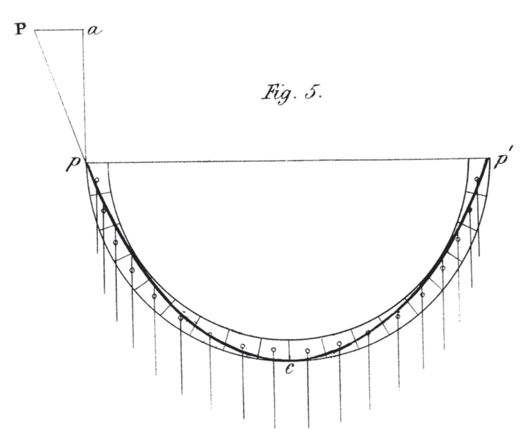


Figura 12
Modelo de arco límite semicircular y verificación de la catenaria (Barlow 1846)

La regla del tercio central

Young (1817) ya demostró que para que una sección esté sometida a compresión el empuje debe estar contenido dentro de su tercio central. De manera independiente, Navier (1826) llegó a la misma conclusión. De hecho, esta condición implica una deformación plana de la sección, esto es, una distribución lineal de tensiones de compresión. En su tratado de mecánica aplicada de 1858 Rankine enunció el siguiente «teorema» sobre la seguridad de los arcos en su *Manual of Applied Mechanics*: «TEOREMA. La estabilidad de un arco es segura, si es posible dibujar una línea de empujes en equilibrio con las fuerzas que actúan sobre el arco dentro del tercio central del espesor del arco» (Rankine 1858).

Aquí, por primera vez, Rankine aplica la idea de un coeficiente geométrico de seguridad a los arcos. Previamente había discutido extensamente el concepto de «estabilidad de posición» que gobierna la seguridad de las fábricas. Para que una sección de un elemento de fábrica sea segura es preciso limitar la tendencia al fallo por vuelco limitando la desviación del punto de aplicación del empuje desde el centro de la sección. Por supuesto, esta condición geométrica se puede interpretar desde un punto de vista elástico, entendiendo que lo que se busca es que no haya tensiones de tracción, pero el problema no es que aparezcan supuestas tensiones de tracción (imposibles de existir en la fábrica) sino que la resultante se acerque demasiado a los bordes. En el contexto del Manual el sentido es claro, pero posteriormente el énfasis en los métodos elásticos de análisis pervirtió el verdadero sentido de la llamada después «regla del tercio central». Jenkin en 1876, en su largo artículo «Bridge» para la Encyclopaedia Britannica dedica un apartado a los puentes de fábrica. Jenkin todavía interpreta correctamente la seguridad geométrica de Rankine y se centra en el estudio de la posición de la línea de empujes dentro del tercio central. Sus dibujos muestran claramente las dos formas de colapso típicas para arcos de medio punto y apuntados. Llega incluso a idear un modelo teórico-experimental de arco formado por dovelas de juntas convexa, para demostrar que, en efecto, como ya afirmó Gregory in 1697 (véase más arriba) un arco no colapsará si puede dibujarse una línea de empujes en su interior (véase la discusión en Heyman 1972, 188).

Últimos estudios teóricos sobre arcos límite hacia 1900

El estudio del arco límite pasa a ser en el último cuarto del siglo XIX y principios del XX un problema meramente teórico, sin aplicación práctica. Ritter en su Manual de ingeniería mecánica de 1876, plantea y resuelve analíticamente el problema, obteniendo el mismo valor que Petit, *l*/17,544 (Ritter 1876, 417). Pilgrim, ingeniero austriaco, dedica su tesis doctoral de 1877 a los arcos circulares de espesor constante y dedica un apartado a los arcos límite.

En 1879 Winkler publica su artículo sobre análisis de arcos de fábrica en el que «demuestra» que el método elástico es el mejor enfoque. A pesar de las evidentes discrepancias entre el arco elástico ideal en su «estado normal» definido por Winkler (homogéneo, continuo, isótropo, módulo de Young conocido, arranques inmóviles etc.) con el arco de fábrica real que incumple todas las suposiciones anteriores, a partir de 1880 hay un acuerdo general entre los ingenieros teóricos de puentes en que hay que realizar análisis elásticos (los ingenieros prácticos siguieron usando los métodos de equilibrio, buscando una línea de empujes dentro del tercio central). Las siguientes contribuciones teóricas van destinadas a simplificar el trabajo analítico asociado al análisis elástico (Hertwig 1941).

En este contexto, resulta singular que un joven ingeniero serbio, Milutin Milankovitch decidiera escribir su tesis doctoral sobre las líneas de empujes en los arcos (más tarde se hizo famoso por sus contribuciones pioneras a las primeras teorías astronómicas sobe los cambios climáticos). La tesis fue leída en 1904 y publicada en 1907 en una revista de matemáticas y física; constituye sin duda la mejor y más completa exposición sobre el concepto de líneas de empujes. Pasó completamente desapercibida en la literatura. Un apartado está destinado a las líneas de empujes en arcos circulares. Aplica las ecuaciones obtenidas a hallar el espesor mínimo de un arco semicircular. Por primera vez, integra correctamente la ecuación diferencial de equilibrio, obteniendo el valor *l*/17,6046, que difiere ligeramente del obtenido por Petit, verificado después por Méry y Ritter.

El arco límite y la seguridad de los arcos de fábrica. El enfoque de Heyman

El profesor Heyman de Cambridge, que ha desarrollado la moderna teoría de las estructuras de fábrica, resucitó

el concepto de arco límite para definir la seguridad de los arcos de fábrica. En su artículo «The safety of masonry arches» de 1969 expone con rigor el problema de la seguridad de los arcos de fábrica. Establece la seguridad, de un arco de cierta forma sometido a ciertas cargas, comparando el espesor del arco real con el del arco límite; se trata de un coeficiente geométrico de seguridad. En la Figura 13 el arco dibujado en (a) tiene el doble de grosor del arco límite (b) que colapsaría con el mecanismo indicado en (c). Por tanto el coeficiente geométrico de seguridad sería de 2. La seguridad es un problema de la forma e independiente del tamaño. Es cierto que, como demostró Galileo, las tensiones crecen linealmente con el tamaño, pero son muy bajas en las estructuras de fábrica. El arco de la Figura 13 (a) puede tener 1 m ó 1.000 m! Sólo por encima de 1 km de luz las tensiones empezarían a determinar el espesor. Los tamaños habituales de arcos son dos órdenes de magnitud más bajos. (Freyssinet (1930) demostró la posibilidad de construir grandes arcos de hormigón de 1km; una buena piedra puede duplicar fácilmente la resistencia de rotura del hormigón.) La regla del tercio central implica un coeficiente geométrico de seguridad de 3 que se ha demostrado excesivo.

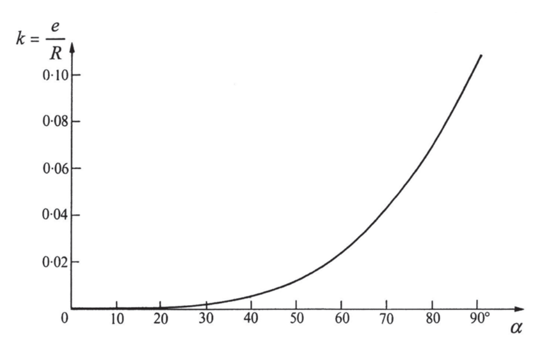


Figura 14
Espesor límite de arcos circulares (Heyman 1999)

Heyman dedujo una expresión para matemática para calcular el espesor límite de cualquier arco circular de espesor uniforme. La relación entre el espesor

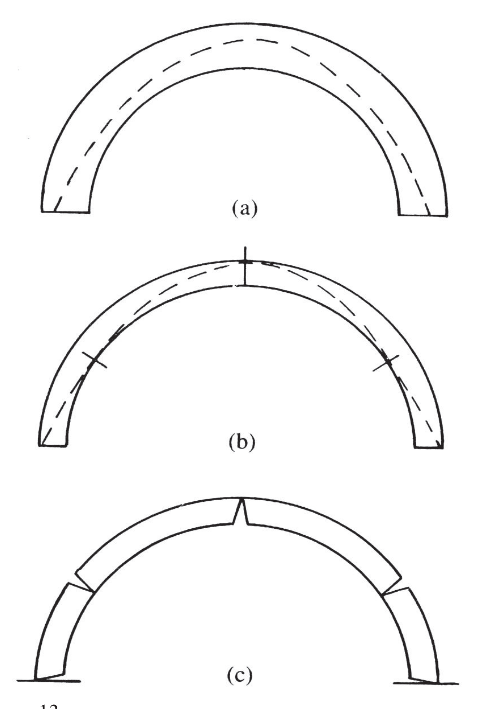


Figura 13
(a) Arco en equilibrio confortable; (b) arco límite; (c) mecanismo de colapso del arco límite (Heyman 1999)

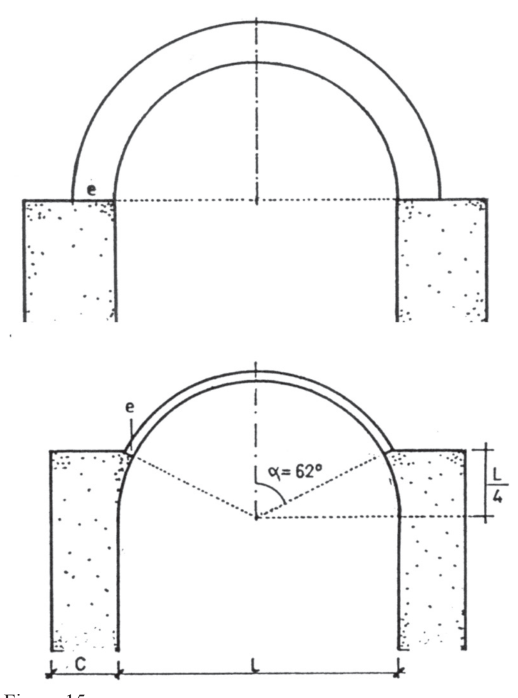


Figura 15
Reducción del espesor de la bóveda y de los estribos por el macizado de los reiñones (Huerta 2004)

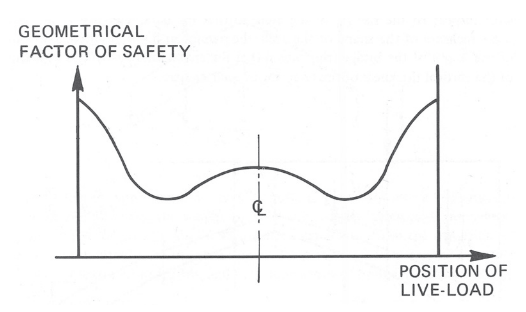


Figura 16
Variación típica del coeficiente geométrico de seguridad en un puente de fábrica (Heyman 1982)

límite *e* y el radio medio *R* la relación *t/r* varía como indica la gráfica de la Figura 14 y es función del semiángulo de apertura del arco α.

La fórmula de Heyman, elegante y concisa, se basa en una suposición que no es enteramente exacta, que el empuje es tangente a la línea de empujes (Heyman 2009). Pero la diferencia es mínima y permite evitar largos cálculos con ecuaciones trascendentes. Para α = 90°, Heyman obtiene 0,106 que equivale a *l*/17,868, con un error respecto al valor exacto de Milankovitch de algo más del 1%. Por supuesto, a efectos prácticos estas desviaciones son irrelevantes.

Heyman (1982) sugiere un método gráfico para hallar el espesor límite para arcos de cualquier forma sometidos a una carga cualquiera. El método se basa en las propiedades proyectivas de los polígonos antifuniculares. Se dibuja un antifunicular cualquira y expandiendo o contrayendo los espacios entre las cargas se «degenera» el antifunicular en dos rectas. Se transforma la línea de intradós de la misma manera. Finalmente, el problema de hallar el espesor límite se convierte en un sencillo problema geométrico.

La implicación de la curva de la Figura 14 para la construcción económica de arcos y bóvedas de fábrica es evidente: la disposición de un relleno en los riñones de los arcos disminuye dramáticamente el espesor de arco o bóveda necesario. Así, un relleno estructural hasta la mitad de la altura de la bóveda, reduce la apertura de la bóveda y reduce enormemente el espesor límite.

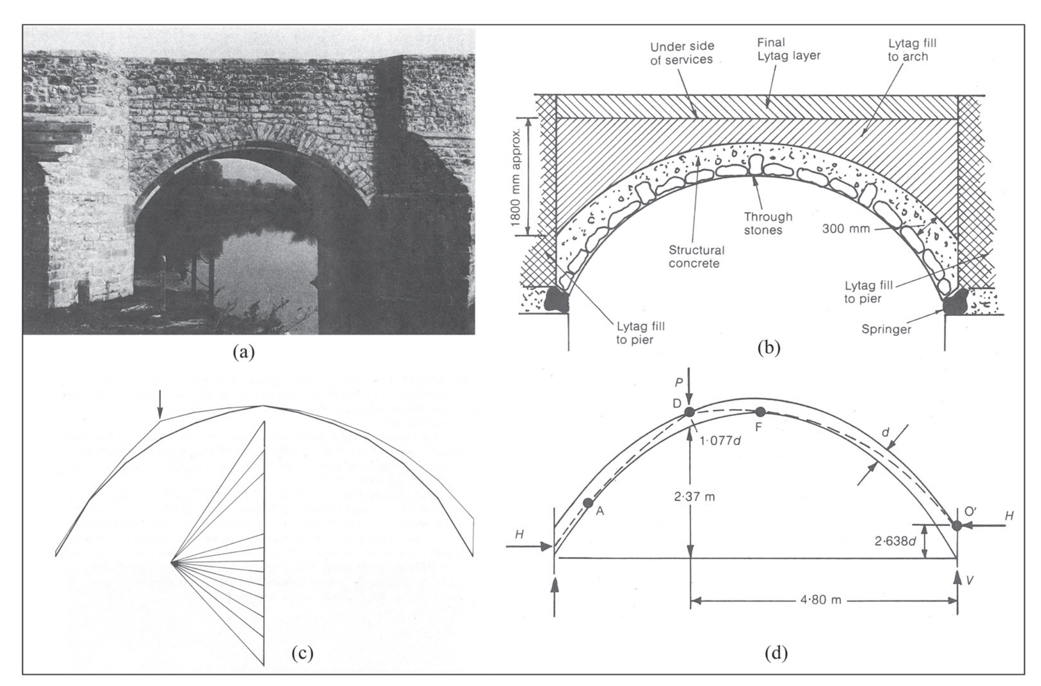


Figura 17
Peritación de un puente de fábrica (Heyman 1982

Al ahorro en el material de la bóveda se suma uno mucho mayor en la fábrica de los estribos, Figura 15.

Arcos de puentes

En el caso de los puentes es preciso calcular el espesor límite para cada una de las posiciones de la carga en cuchillo que se considera debe soportar el puente. El espesor límite va variando y se hace máximo cerca del cuarto de la luz. En consecuencia para un cierto puente el coeficiente geométrico de seguridad varía según una curva como la de la Figura 16.

La posición exacta de las rótulas del mecanismo de colapso depende de la forma del arco. En la Figura 17, se muestra el análisis realizado por Heyman de la seguridad del puente medieval de Teston. Conocida la carga en cuchillo que debe pasar por el puente se calcula el espesor límite mayor, realizando el cálculo numéricos a intervalos. Finalmente, se dibuja la línea de empujes, Figuras 17 (c) y (d), para verificar la corrección de los cálculos. En este caso, el espesor del puente medieval resultaba insuficiente y se recreció el espesor para alcanzar un coeficiente geométrico de seguridad de 2 (Heyman 1982).

Conclusiones

El arco límite es la base del proyecto y el peritaje de los arcos de fábrica. Para una cierta forma y carga hay un cierto espesor que contiene justo la línea de empujes. Ese arco límite está en equilibrio inestable y debe ser recrecido para que la línea de empujes puede moverse "confortablemente" en su interior para adaptarse a la acción de cargas adicionales o a movimientos de sus apoyos. Algunos autores de los siglos XIII (Couplet) y XIX (Méry) vieron claramente este hecho, pero consideraron que el espesor sólo debía recrecerse por consideraciones de resistencia: esto conduce a espesores poco mayores del límite y a proyectos inseguros. El resto de los autores trataron el problema del arco límite como un difícil problema mecánico, sin aplicación práctica.

En los años 1960, fue el profesor Heyman de Cambridge quien, tras integrar la teoría de arcos de fábrica dentro del marco más general del análisis límite, recuperó la idea de arco límite para definir rigurosamente el coeficiente geométrico de seguridad de los arcos de fábrica. La seguridad depende, pues, exclusivamente de la geometría en arcos sometidos a su propio peso: esto valida el proyecto proporcional de las reglas tradicionales para los arcos empleadas desde la Antigüedad. En los puentes, influye también el valor de la carga que lo puede cruzar. Entonces, el espesor seguro depende, además de la geometría, de la relación entre la carga y el peso total del puente: los puentes más grandes pueden ser más esbeltos.

En la actualidad, el enfoque erróneo de la resistencia, incluido implícitamente en los programas de ordenador de Elementos Finitos, ha vuelto con fuerza. Sin embargo, la comprobación de resistencia es insegura (puede haber situaciones casi inestables con tensiones muy bajas).La seguridad sólo se obtiene calculando el arco límite y aplicando el correspondiente coeficiente geométrico de seguridad.

Lista de referencias

La referencias históricas que figuran en el texto en formato autor (año), pueden encontrarse en las obras citadas, en particular en Huerta 2004, que puede accederse libremente en www.ad.upm.es.

Heyman, J. 1972. *Coulomb's Memoir on Statics: An Essay in the History of Civil Engineering*. Cambridge: Cambridge University Press.

Heyman, J. 1982. *The Masonry Arch*. Chichester: Ellis Horwood.

Heyman, J. 1999. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera / CEHOPU.

Heyman, J. 2009. La coupe des pierres. *Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, 20-24 May 2009*. Cottbus: Chair of Construction History and Historical Preservation of the Brandenburg University of Technology: 807-812.

Heyman, J. 2015. *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica. Colección de ensayos. Vol. II.* (ed. por S. Huerta). Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Huerta, S. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera. (Accesible en PDF en www.ad.upm.es).

Huerta, S. 2012. Wedges and plate-bandes: mechanical theories after De la Hire. En:

L'architrave, le plancher, la plate-forme. Nouvelle Histoire de la construction. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes: 405-435.

Peacock, G. 1855. *Life of Thomas Young*. London: John Murray.

Características constructivas de la torre vigía del palacio del Marqués de Casa Arizón: una casa de cargadores de Indias en Sanlúcar de Barrameda

Pedro Hurtado-Valdez

España y América mantuvieron lazos comerciales muy estrechos entre los siglos XVI y XVIII, a partir de la institución de la Casa de Contratación de Indias, como entidad que monopolizaba dicho comercio, estableciendo inicialmente su sede en Sevilla y luego desde 1717 en Cádiz. En este contexto Sanlúcar de Barrameda constituyó un puerto importante para la recepción y envío de mercaderías provenientes de uno y otro lado del océano Atlántico, porque su ubicación estratégica en la desembocadura del río Guadalquivir permitía a las naves de gran tonelaje evitar de surcar la barra de Sanlúcar, obstáculo constituido por un banco de arena que se movía de acuerdo a las corrientes, siendo responsable de muchos naufragios de embarcaciones rumbo a Sevilla.

Precisamente el palacio del Marqués de Casa Arizón debe su complejidad arquitectónica y constructiva a su actividad como casa de cargadores de Indias y al incesante tráfico comercial con América desde Sanlúcar de Barrameda. A mediados del siglo XVII, Félix de Arizón se trasladó desde Gerona a esta localidad gaditana, con la finalidad de participar en el negocio de la importación y exportación de productos agrícolas y manufacturados entre las Indias y el Principado de Cataluña, dando comienzo a la presencia de los Arizón en Sanlúcar de Barrameda, y cuyo hijo Jacinto Arizón años después encumbraría la firma comercial como una de las más importantes de Andalucía. En 1748 el rey Felipe V otorgó a Salvador Arizón el reconocimiento de Marqués de Casa Arizón por los servicios prestados al monarca, al poner a su disposición naves y edificaciones para ser empleados como almacenes reales (Gómez 1995).

Es conveniente recordar que las casas de cargadores de Indias conformaron uno de los tipos **más** singulares de la arquitectura civil de la costa gaditana, que encontró su expresión definitiva en la segunda mitad del siglo XVII a la par del desarrollo económico de la ciudad de Cádiz, incentivado por el comercio monopolístico americano (Cirici 2010: 319). Estas casas y sus torreones marcaron el perfil de las ciudades y se construyeron hasta fines del siglo XVIII, coincidiendo con el periodo de mayor madurez de la arquitectura barroca andaluza.[1]

La implantación del palacio del Marqués de Casa Arizón en Sanlúcar de Barrameda también contribuyó a su definición urbanística, ya sea por la ubicación de la casa en las afueras de la ciudad, cerca a la playa y los cultivos de navazos, como por la modificación del trazado del antiguo callejón la Suela que dividía la propiedad en dos sectores y que fue incorporada a su solar. Asimismo, la familia Arizón logró obtener del Cabildo la eliminación de la barrera colocada a la entrada del puente ubicado sobre el tramo final del Arroyo de San Antón construido en 1674, de modo que permitiera cruzar los carruajes del marqués (Domínguez 1988).

El conjunto arquitectónico del Marqués de Casa Arizón fue declarado Bien de Interés Cultural, con la categoría de Monumento, mediante DECRETO 142/2001de 12 de junio, siendo publicado dicho decreto en el BOJA 85 del 26 de julio de 2001.

El edificio del Marqués de Casa Arizón

Organización arquitectónica

La casa de cargadores de Indias del Marqués de Casa Arizón se sitúa en la zona denominada Barrio Bajo, y forma parte del sector de La Balsa, que fue consolidándose a partir de la segunda mitad del siglo XIV en la primitiva zona de pescadores como ensanche urbano de Sanlúcar de Barrameda (figura 1). Es decir, la ubicación del edificio estuvo condicionada desde su inicio por su función comercial, situándose próxima a la línea de la costa junto a la población existente de pescadores por los beneficios económicos que significaba la presencia de una mano de obra permanente para las necesarias labores de carga y cabotaje (Gómez 2003).

El conjunto arquitectónico tuvo dos momentos constructivos determinantes de su morfología actual. La construcción inicial comenzará en el siglo XVII con el antiguo palacio que daba al desaparecido callejón la Suela y los almacenes con frente a la calle Banda de la Playa (antigua calle de la huerta de la Balsa). Con el devenir del auge comercial se hizo necesario dotar al edificio de nuevas instalaciones que permitieran tanto el almacenaje de los productos como el manejo de la logística necesaria para su envío a tierras americanas. De esta forma se permitió el acceso desde la calle Divina Pastora (antigua calle de los Capuchinos) mediante una portada con los emblemas de la familia y un gran patio de carga y descarga.

Pero fue en el siglo XVIII cuando se levantó el palacio principal situado en la esquina formada por la calle Divina Pastora y el callejón de los Félix, que contenía los espacios de residencia y comercio, a partir del cual empiezan a aparecer otros edificios de uso complementario para almacenaje, fruto de la doble funcionalidad residencial y comercial que configuran las casas de cargadores de Indias (Gómez 1995). La construcción principal que corresponde al



Figura 1
Ubicación de Casa Arizón en Sanlúcar de Barrameda (Pedro Hurtado-Valdez)



Figura 2
Características del patio principal del palacio del Marqués de Casa Arizón (Pedro Hurtado-Valdez)

palacio propiamente dicho se organizaba en torno a un patio con arquerías que daba acceso a las dependencias de salas y almacenaje en la planta baja, mientras que una gran escalera permitía el acceso a una oficina de negocios, de poca altura ubicada en la entreplanta, a la zona residencial situada en la primera planta y a la zona de servicios correspondiente a la segunda planta.

A un lado del patio principal aparece la torre vigía que servía para otear el horizonte, conocer la llegada de los barcos desde alta mar y colocar los estandartes con la finalidad de servir de referencia a las flotas comerciales (figura 2). Estas torres inicialmente nacidas como puestos de vigilancia, terminarían por convertirse en símbolo de la posición social del propietario del edificio y como lugar de recreo (Domínguez 1988). Junto al edificio palaciego y detrás de la torre aparece un patio alargado en forma de «T» con arquerías perimetrales, que organiza el resto de construcciones y galerías subterráneas empleadas como depósitos, bodegas y almacenes, las cuales a su vez conectan con otros patios que permiten el acceso al antiguo palacio del siglo XVII y sus dependencias (figura 3).



Figura 3
Patio en «T» que sirve de unión a los palacios del siglo XVII y del siglo XVIII (Pedro Hurtado-Valdez)

Desarrollo constructivo

Los primeros informes que se tienen del predio corresponden al año de 1646, referido a un censo señalado por el capitán Pedro Gutiérrez sobre «unas casas de su morada que poseía en el barrio de la Balsa que se las había comprado a la viuda de Luis Román y eran lindantes con otras de la dicha viuda, con las de Juana de Padilla y con la calle Suela que va a dar a la calle de la huerta de la Balsa y por la delantera con la Playa…» (Olaciregui et al. 2009), para la celebración de una misa cantada anual, en su memoria y la de sus familiares. Dicha misa debía ser efectuada en la capilla de la Pura y Limpia Concepción de la iglesia mayor sanluqueña. En el mismo año la propiedad pasó a manos del capitán Andrés de Arroyo adquiriendo la de las herederas de Pedro Gutiérrez, Catalina de Mata, viuda del alférez Álvaro de Pareja, e Isabel Gutiérrez, mujer de Juan León, y posteriormente amplió la propiedad con la compra a Francisco Martin de un solar colindante con la huerta de la Balsa. Entre 1669 y 1670 los herederos del capitán Andrés de Arroyo hipotecaron el predio y el impago de los compromisos asumidos motivó la subasta del edificio, siendo adquirido por el capitán Luis de Carmona en 1701 en representación de Antonio Moreno.

La fecha de construcción del palacio original situado entre las calles Divina Pastora, Banda de la Playa y la Suela, donde se ubicaba la portada de acceso, corresponde a la segunda mitad del siglo XVII, el cual fue adquirido posteriormente por la familia Arizón, quienes lo reformaron construyendo la torre en 1721 y el segundo palacio ubicado frente a la calle Divina Pastora y el callejón de los Félix, siendo valorado todo el conjunto arquitectónico en 60.000 pesos escudos de la época.

En 1730 Jacinto Arizón solicitó y obtuvo del Cabildo la incorporación a su propiedad de la calle la Suela, que habría sido el callejón que existía desde la calle Divina Pastora hasta la calle de la huerta de la Balsa, en el tramo comprendido entre el Arroyo de San Juan y la Almona, tal como se puede observar en la planimetría municipal de 1725. El argu-

mento fue que era: «una callejuela angosta que, sin servir para el tráfico de carruajes, sólo se valen de ella los vecinos para echar inmundicias y, necesitándolas para darles a dichas casas comunicación que sirva de adorno al mismo barrio y aseo a la vecindad, sin perjuicio de vecino, porque no hay ninguno que tenga salida a dicha callejuela con zaguán, pide y suplica se le conceda licencia para cerrarla e incorporarla a su casa» (Domínguez, 1988).

La torre vigía

Características estilísticas

Si bien las torres como elementos de la arquitectura civil se habían desarrollado en las casas palaciegas del Bajo Medioevo, es en Cádiz donde adquirieron particular relevancia, debido principalmente a su condición de ciudad de perfil marítimo y a su trama urbana con calles estrechas. De esta manera, los comerciantes gaditanos levantaron entre los siglos XVII y XVIII torres vigías para observar la llegada de sus flotas, izar sus banderas para ser identificados por sus barcos que venían de ultramar y realizar los preparativos necesarios para la carga y descarga de los navíos. Estas torres nacidas en este contexto comercial terminaron luego por constituirse en símbolo de la posición social del propietario del edificio y elemento identificador de las casas de cargadores y mercaderes de la flota de Indias.

En general las torres gaditanas se caracterizan por la sencillez de sus paramentos exteriores, donde sólo se presentan molduras que marcan los cuerpos y se abren los vanos necesarios para la iluminación interna de la escalera. Se pueden considerar los siguientes tipos de torres vigías: «garita», «sillón» y «terraza», siendo la torre del palacio del Marqués de Casa Arizón del tipo sillón, similarmente a las torres sanluqueñas de Pastrana, plaza del Pradillo y Cruzado de Mendoza (Gómez, 1995). Este tipo logra gran altura al retranquear su último cuerpo a la mitad de la superficie correspondiente al cuerpo inferior con lo que adquiere la forma de sillón y disminuye el peso que carga sobre la parte baja de la estructura de la torre (figura 4).

La torre del palacio del Marqués de Casa Arizón cuenta con cinco cuerpos lisos, realizados de fábrica de ladrillo de distintos espesores organizados a partir de tres cuerpos inferiores coincidentes con los niveles de las plantas baja, primera y segunda del palacio del siglo XVIII, y dos cuerpos superiores o de coronación, donde la temática compositiva cambia al mostrar huecos elípticos como mirillas y vanos dobles con balconcillos pareados en cada cara. El último cuerpo se presenta como una terraza para vigilancia, parcialmente cubierto con un cobertizo de madera, orientado hacia la desembocadura del río Guadalquivir, mostrando a los lados unos aletones en volutas y pilastras esquineras rematadas en pináculos. En esta terraza aparecen las abrazaderas metálicas donde se fijaba la asta de las banderas de señales para establecer comunicaciones con los navíos que arribaban de alta mar. Los trabajos de construcción de la torre terminaron en 1721, tal como lo atestiguan las pinturas murales presentes en el cuerpo de remate a lo largo



Figura 4
Sección del palacio del Marqués de Casa Arizón con la torre en sillón (Pedro Hurtado-Valdez)



Figura 5
Pintura mural con la fecha de terminación de la torre (Pedro Hurtado-Valdez)

de la imposta que le sirve de base, donde aún se puede leer: «AÑO D/E 1721» (figura 5).

Características constructivas

La realización de un estudio geotécnico determinó que el suelo de la torre presentaba un primer nivel estratigráfico antropizadode profundidad y compacidad variable, conformado por arenas y raíces vegetales, además de evidencia de cerámica y solería fracturada. El segundo nivel estaba compuesto por arenas limosas con cantos bioclásticos de conchas proveniente de un entorno fluvio-marino. Se observaba algo de grava y gravilla silícea, con un mayor porcentaje de estas entre 6,65 y 8,00m. Por debajo de estas cotas se situaba un nivel plio-cuaternario compuesto por arenas con cuarzo de tonalidad crema anaranjada, presentando un mayor contenido en limos, grava, gravilla silícea y materia orgánica.

Las calicatas efectuadas para determinar las características de la cimentación comprobaron que se construía con ladrillo macizo, profundizando los muros de carga bajo la cota del terreno unos 20 cm. Dichos ladrillos tenían formatos de 29x13x4 cm y 31x15x4 cm, estaban asentados con mortero de caly se apoyaban sobre una zapata corrida con recrecidos escalonados bajo suelo, la cual se realizaba con una piedra arenisca llamada «ostionera» con nódulos carbonatados. Este tipo de piedra es muy típica de la arquitectura civil del bajo Guadalquivir cuyas canteras se encontraban prácticamente inmediatas a las propias ciudades y a poca profundidad del suelo natural. La zapata en un inicio presentaba similar sección del muro de fábrica en una altura de 97 cm, para luego incrementarse en 15 cm de ancho con una altura de 64 cm y con un nuevo recrecido de 18 cm de ancho y una altura promedio de 24 cm. El apoyo de la cimentación, por lo general, se localizaba en el nivel de arenas limosas según la estratigrafía del terreno a una cota por debajo de 2,00m de profundidad (figura 6).



Figura 6
Características de la cimentación del palacio del Marqués de Casa Arizón (Pedro Hurtado-Valdez)

Las catas realizadas en distintos niveles de los muros determinaron que éstos se conformaban por mampostería, de espesores variados, con relleno de una argamasa compuesta por rocas ostioneras, fragmentos pétreos y cerámicos, ladrillos macizos y mortero de cal, todo confinado por una fábrica de ladrillos macizos de dimensiones de 29x14x4 cm dispuestos en verdugadas de tres hiladas y pilastras del mismo material, recibidas con mortero de cal y revestimiento de 1-1,5 cm de espesor (figura 7).



Figura 7
Cata con los muros de mampostería conformado por relleno diverso enmarcada por verdugadas y pilastras de ladrillo (Pedro Hurtado-Valdez)



Figura 8
Escaleras de fábrica en arcos de tranquil (Pedro Hurtado-Valdez)



Figura 9
Junta constructiva que había sido revocada durante el siglo XX (Pedro Hurtado-Valdez)

El desarrollo de la comunicación dentro de la torre es muy interesante desde el punto de vista constructivo, ya que sus dos primeros niveles se relacionaban mediante una escalera de madera, para luego pasar a una sucesión de arcos de fábrica efectuados con ladrillos planos para dar el perfil de arco en tranquil o rampante (figura 8). La escalera que permite acceder al último nivel, donde se encuentra la terraza de vigía, está conformada por zancas de madera embrochaladas a la molinera.

Comportamiento estructural

La situación geográfica de la torre vigía y su implantación dentro del palacio del Marqués de Casa Grande Arizón han sido determinantes para comprender el comportamiento estructural de su fábrica y los daños que presentaba. La torre se encontraba dentro de la corpulenta fábrica del conjunto arquitectónico, pero debido a su esbeltez, que contrastaba con la rigidez de los cuerpos chatos del resto del edificio, se le dotó convenientemente de juntas constructivas que la separaban de los muros del patio principal, con la finalidad de evitar grietas que de modo natural aparecerían por movimientos debido a posibles asentamientos y cargas laterales de los vientos marinos a la que estaba expuesta, y que se encontraba oculta para un revoque contemporáneo (figura 9). El desarrollo interior de las escaleras en arcos a tranquil o por medio de atados leñosos contribuían a mantener los lienzos de la torre en posición y distribuir de manera uniforme las cargas.

Los ensayos físicos y análisis químicos de ladrillos y mortero, según muestras extraídas de catas efectuadas, evidenciaron que estos ladrillos presentaban una resistencia media a compresión de 150 Kgf/cm^2 y un porcentaje de absorción de agua medio de 15%. Por otro lado, se estimó que el mortero era asimilable al tipo M-5 y un espesor de juntas de 1,5 cm. Los valo-

res consignados permitieron obtener una resistencia de cálculo de la fábrica f_d de 16,0 Kg/cm^2, aunque debido a la antigüedad y heterogeneidad de la fábrica, se creyó por conveniente aplicar un coeficiente de seguridad reductor de 2,0 obteniendo una resistencia final de 8,0 Kg/cm^2. Estos valores pueden considerarse aceptables para la carga a compresión que asumen los ladrillos en la base de la torre, lo cual indica que los maestros antiguos sabían que en situaciones normales no fallaría por aplastamiento.

Sin embargo, debido a su proximidad al mar se producía un gran aporte salino transportado por vientos húmedos que golpeaban continuamente la cara sur, resultando en la abrasión y meteorización de los materiales que lo conformaban. Consecuentemente, los revestimientos y las juntas se encontraban pulverizados, con pérdida de cohesión para la transmisión adecuada de las cargas, produciéndose en muchos casos importantes desprendimientos y presencia de eflorescencias salinas, las cuales a su vez estaban motivadas por la absorción de agua proveniente de precipitaciones con presencia de sales disueltas, que luego cristalizaban una vez evaporado el medio líquido y aumentaban su volumen produciendo microfracturas (Pozuelo 2007). Esto motiva la reflexión que los antiguos habían previsto el mantenimiento continuo de los revestimientos justamente como una superficie de sacrificio que protegía a la fábrica.

En cuanto a los vanos existentes en la torre se determinó que en actuaciones de mediados del siglo XX se habían eliminado tres de los balcones originales, uno de ellos mediante un cegado completo y los dos restantes fueron parcialmente tapiados, siendo sustituidas sus ventanas por otras de menor tamaño con la consecuente modificación de la impronta inicial de la torre. En la restauración del año 2005 se levantó la solería existente para su posterior reposición, procediéndose luego a la demolición del forjado deteriorado y su reconstrucción sobre nuevas vigas de madera. Finalmente se repuso la cubierta andaluza y su solería original. Se procedió también a la colocación de jambeados de ladrillo, además del aterrajado y preparación para el posterior revestimiento.

En las fachadas de la torre se procedió al picado y lavado de la totalidad de los paramentos, para seguidamente aplicar un embarrado de igualación efectuado con mortero bastardo en proporción 1:2:8, previo humedecimiento de las superficies. Sobre esta capa de base, se aplicó un enfoscado con mortero bastardo similar al anterior, siendo este último regleado, incorporando además una malla de fibra de vidrio como refuerzo ante solicitaciones de cargas laterales. La terminación consistió en un enfoscado fratasado de mortero bastardo, compuesto de cemento, cal, áridos de granulometría compensada y aditivos orgánicos e inorgánicos. Finalmente fue aplicado un mortero de cal para revoco, con una composición de cal aérea, cargas y pigmentos minerales. En los paramentos exteriores siguiendo las características originales de terminación se aplicó una pintura a la cal grasa, sellándose previamente las grietas existentes en el cuerpo de remate (Olaciregui et al. 2009).

En paramentos interiores se procedió al tratamiento mediante picado de las partes deterioradas y lavado, para su posterior embarrado también con mortero bastardo de igualación en proporción 1:2:8, previo humedecimiento de las superficies. Por último, fue aplicado un enfoscado con mortero bastardo de similar proporción al anterior, un tendido rayado de yeso negro y pintura a la cal (figura 10).

En cuanto a las carpinterías existentes se procedió a su conservación y a la reposición de las partes faltantes o sumamente deterioradas, mediante nueva madera de pino para las puertas de hojas abatibles, con cierres de falleba, vidrios de 5mm y acabado con pintura. La escalera original de madera fue reconstruida en madera de pino barnizada, incluyendo la



Figura 10
Tratamiento de paramentos interiores de la torre en la zona de los óculos y vista del entorno desde este punto de vigía (Pedro Hurtado-Valdez)



Figura 11
Detalle de la conformación de las escaleras sobre arcos (Pedro Hurtado-Valdez)

instalación de una nueva barandilla en balaustrada del mismo material siguiendo las características de la original.

En las superficies horizontales se empleó una solería de material cerámico con rodapié del mismo material y recibida con mortero bastardo, mientras que en las escaleras de fábrica se observó que a pesar de la falta de mantenimiento se encontraban en buen estado necesitando sólo la reconformación de los peldaños con revestimientos de material cerámico y remate de los ángulos de los pasos con mamperlanes de madera de pino acabados con barniz, que reproducían las evidencias originales (figura 11).

Policromías

Los paramentos superiores de la torre mostraban restos de pintura mural de color almagra en cornisas y en los pequeños modillones bajo ellas, mientras que en el inter espacio entre modillones se evidenciaban trazas de letras con la fecha de ejecución de la fábrica. Inicialmente se realizó una limpieza, previa al tratamiento evitando las zonas con peligro de desprendimiento, mediante brocha de pelo equino y aspirador.

Se efectuaron catas de superficie para determinar la existencia otras policromías, además de la eliminación de repintes y capas de cal que cubrían las inscripciones originales, asimismo se retiraron los repintes de temple negro que ocultaban parcialmente la fecha de construcción de la torre. La exposición directa a las inclemencias meteorológicas provocó la aparición de carbonataciones extendidas por toda la superficie de los paramentos. Para su retirada, se utilizó un microcincel percutor, así como espátulas y bisturís para el resto de acumulaciones. Una vez terminada la limpieza se pudo determinar la composición cromática del conjunto, que era en tono ocre utilizado para los fondos y negro para las letras y números, con incisión grabada en el mortero fresco. Para devolver la consistencia al mortero disgregado se procedió a la consolidación del soporte con sucesivas manos de silicato de etilo (Domínguez, 2005).

Las oquedades existentes fueron tratados mediante inyección de pequeñas dosis de cal más carga, principalmente en aquellas zonas separadas del muro o con adherencia insuficiente, evitando así futuros desprendimientos. Las pequeñas perdidas de mortero se repusieron mediante mezcla de cal y arena seleccionada similar a la original. El tratamiento de las zonas con mayor superficie expuesta se realizó con la misma mezcla, pero a bajo nivel como criterio diferenciador.

La reintegración cromática se realizó mediante estarcido de pigmentos naturales disueltos en silicato, utilizando plantillas para no manchar otras zonas. Además, la protección final se efectuó mediante pulverización de silicato de etilo con pistola y compresor. También se realizó una pequeña reparación de emergencia en aquellas zonas que quedaban desprotegidas, debido a su pésimo estado de conservación peligrando su integridad. Para ello se empleó un mortero bastardo aplicado en diferentes jornadas para asegurar el adecuado secado del mismo y que no produjera contracciones debido a su enorme espesor.

Conclusiones

La torre vigía del palacio del Marqués de Casa Arizón constituye un ejemplo excepcional de la arquitectura de las casas de cargadores de Indias sanluqueñas que atestiguan los lazos comerciales establecidos entre España y América durante los siglos XVII y XVIII. Sus características estilísticas y constructivas la asemejan a las torres existentes también en Cádiz, construidos en la misma época y

con la misma finalidad. Constructivamente es un gran repertorio de técnicas que emplearon los maestros antiguos para garantizar su estabilidad, con la incorporación de elementos leñosos y el desarrollo de escaleras interiores apoyados en arcos de tranquil que trababan los muros evitando que se abrieran por su gran esbeltez, así como la presencia de juntas constructivas que la separaba del resto del edificio. Para su edificación se empleó material propio del lugar como las piedras «ostioneras» que a pesar de su baja densidad era suficiente para resistir las cargas por gravedad.

Notas

1. «El trasladado de la Casa de Contratación de Sevilla a Cádiz en 1717, y con ello del monopolio del tráfico con las Indias, se corresponderá con su edad de oro, siglo XVIII, y erección del mayor número de ellas (torres)» (Cirici 2010: 319). Las Ordenanzas Municipales de Cádiz prohibirían a partir de 1792 la construcción de torres por quitar iluminación y ventilación a las calles, además del peligro que significaba su ruina en caso de huracanes y seísmos, como los de 1671 y 1755 respectivamente.

Lista de referencias

Cirici Narváez, Juan Ramón. 2010. Epílogo: Las torres-miradores gaditanas durante el siglo XIX. En *Laboratorio de Arte nº22, pp.317-338*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Domínguez del Río, Fernando. 1988. *Expediente para la declaración de Bien de Interés Cultural (BIC) del inmueble del Marqués de Casa Arizón situado en la calle Banda de la Playa* nº75 de Sanlúcar de Barrameda (Cádiz).

Domínguez Fernández, Fátima. 2005. *Expediente de restauración de las policromías de la torre del palacio del Marqués de Casa Arizón.*

Gómez Díaz, Ana María. 1995. Las casas sanluqueñas de cargadores de Indias. El modelo de casa Arizón. En *Actas Sanlúcar de Barrameda en la corriente de la Ilustración*. Jerez de la Frontera: Centro de Profesores (CEP).

Gómez Díaz, Ana María. 2003. *Evolución urbanística de Sanlúcar*. En Estudio social de los barrios de Sanlúcar de Barrameda, pp.37-67. Jerez: Centro Universitario de Estudios Social de Jerez, Universidad de Cádiz.

Olaciregui, Javier; Fernández, Rodrigo; Hurtado, Pedro. 2009. *Expediente de rehabilitación del palacio del Marqués de Casa Arizón*. Madrid.

Pozuelo Cabezón, Silvia Piedad; González Fernández, Victoriano. 2007. *Estudio de reconocimiento de patología de una edificación: Casa Grande Arizón, Sanlúcar de Barrameda, Cádiz*.


ISBN 978-84-9728-578-0
9 788497 285780